ODICAL Oceanog. Society of Japan
(3) Journal
LIBRARY
DEC 13 1960
FISH & WILDLIFE SERVICE
ND
C
15(3)

日本海洋学會誌

JOURNAL OF THE OCEANOGRAPHICAL SOCIETY OF JAPAN

Volume 15, Number 3 OCTOBER 1959

CONTENTS

山本広志：本邦内湾の海洋化学的研究－Ⅷ 底土の化学的組成による浦戸湾と浦之内湾との異同について（その 1）浦戸湾の底質……99～102

山本広志・今井嘉彦：本邦内湾の海洋化学的研究－Ⅸ 底土の化学的組成による浦戸湾と浦之内湾との異同について（その 2）浦之内湾の底質……103～105

細川巖・岡部史郎・浜田七郎：東支那海底土の海洋化学的研究－Ⅱ 炭酸塩及び可溶性珪酸含量について……107～107

向井正幸：海水又は湖水中に沈められたる小板の照度について（英文）……111～120

鳥羽良明：海面における気泡の破裂による海水滴の生成について－Ⅱ 浮遊気泡の形状に関する理論的研究（英文）……121～130

北村弘行：北太平洋の海洋化学的研究－Ⅵ 赤道太平洋における燐の分布……131～135

内尾高保：房総半島・金華山沖の浮游性有孔虫群……137～141

中村広司・山中一：マグロ類の分布と海洋構造……143～149

寄稿……151

録事……156

H. YAMAMOTO: *Oceanographical Studies on Japanese Inlets—VIII. Differences between Urado Bay and Uranouchi Bay with Reference to the Chemical Composition of Bottom Mud (Part 1) Sediment in Urado Bay* (in Japanese) ..... 99～102

H. YAMAMOTO and Y. IMAI: *Oceanographical Studies on Japanese Inlets—IX. Differences between Urado Bay and Uranouchi Bay with Reference to the Chemical Compositions of Bottom Mud (Part 2) Sediment in Uranouchi Bay* (in Japanese) ……103～105

I. HOSOKAWA, S. OKABE and S. HAMADA: *Oceanographical Studies on Sediments of East China Sea—II. On Carbonate Contents and Soluble Silicate* (in Japanese) ……107～110

M. MUKAI: *Intensity of Illumination at a Small Plate Lowered in Lake or Marine Water*……

Y. TOBA: *Drop Production by Bursting of Air Bubbles on the Sea Surface—II. Theoretical Study on the Shape of Floating Bubbles* ……111～120

H. KITAMURA: *Chemical Oceanography in the North Pacific—VI. Phosphate in the Equatorial Pacific Ocean* (in Japanese) ……121～130

T. UCHIO: *Planktonic Foraminifera off the Coast of Boso Peninsula and Kinkazan, Japan* (in Japanese) ……131～135

H. NAKAMURA and H. YAMANAKA: *Relation between the Distribution of Tunas and Ocean Structure* (in Japanese)……143～149

Correspondences……151

Proceedings ……156

Published quarterly by the

Oceanographical Society of Japan

c/o Geophysical Institute, University of Tokyo

Yayoi-cho, Bunkyo-ku, Tokyo, Japan

日 本 海 洋 学 会

日本海洋学会誌編集委員会

委員長　松江吉行（東京大学農学部）
委　員　中野猿人（気象庁）
南日俊夫（気象研究所）
新野　弘（東京水産大学）
深井麟之助（東海区水産研究所）
吉田耕造（東京大学理学部）
小牧勇蔵（東京大学農学部）

日 本 海 洋 学 会 誌 投 稿 規 定

1. 投稿資格　報文の投稿者は，原則として本会々員に限る．但し会員外の協同研究者を含むことは差支えない．

2. 報文の受理　編集委員会が報文を受理した日をもつて受理日と定める．尚受理報文は，原則としてすでに公の会で講演されたもので，未印刷のものに限る．特に日本海洋学会の年会又は月例会で講演されたものであることが望ましい．原稿には講演の年月日・会名・場所を附記されたい．

報文の原稿は，東京都文京区向ケ丘彌生町東京大学理学部地球物理学教室内日本海洋学会事務局宛直送のこと．

3. 報文の用語　報文の用語は，和文（英文の要約を含む）又は欧文（原則として英語）の何れでもよい．

4. 原稿の書き方　報文は簡潔にわかり易く書き，図表を含めて**印刷頁で10頁以内**（和文では400字詰原稿用紙図表を含めて約45枚以内，欧文では通常のタイプライター用紙に，ダブル・スペース25行で，図表を含めて約25枚以内）を原則とし，それを超える時は，1頁につき1,500円の実費を申受ける．**なお著者は必ず原稿の写しを保管しておくこと．**

原稿を書く時には，次のことがらに留意されたい．

（a）　和文原稿は，原稿用紙に読み易い字体で書き，欧文原稿は厚手の用紙にダブル・スペースでタイプすること．

（b）　報文の始めには，題名・著者名・所属機関名を明示すること．和文（英文）原稿では，之等の項目を英文（和文）でも附記すること．

（c）　和文原稿には，本文の始めに英文の要約を附すること．

（d）　図はそのまま版下になるように，黒インク又は墨で書くこと．図の大きさ(特に図の中の数字等)は印刷時の縮少を考慮して書くこと．

（e）　図及び表はなるべく少くしていただきたい．図8枚を超える場合及び特殊なものに対しては，実費を申受けることがある．

（f）　図及び表には必ず説明をつけ，和文原稿でも図表の説明は英文で書くこと．

（g）　数式は行を開けて，明瞭に書くこと．

（h）　引用文献は，報文の最後にまとめてつけ，和文の場合には通し番号をつけ番号順に，欧文の場合には，著者のアルファベット順に並べること．

（i）　人名（和文中の外国人名を含む）はスモール・キヤピタルを用いる．

（j）　論文の型式は第12巻以後の各号を参照して，之にしたがうこと．

5. 編集　日本海洋学会誌の編集は，編集委員会で行う．編集委員会は，事情により原稿中の字句の加除訂正を行い，或いは著者に請求することがある．内容の如何によつては原稿を受理しないことがある．初校は原則として著者が行う．

6. 別刷　別刷は報文一編につき50部を無料で著者に進呈する．これ以上の部数に対しては，実費（送料を含む）を徴収する．

7. 各号の原稿締切予定及び発刊予定日

	原稿締切	発刊予定日
第1号	1月末日	3月末日
第2号	4月末日	6月末日
第3号	7月末日	9月末日
第4号	10月末日	12月末日

The Journal of the Oceanographical Society of Japan
Vol. 15, No. 3 October 1959

本邦内湾の海洋化学的研究 (第8報)
底土の化学的組成による浦戸湾と浦之内湾との異同について (その 1), 浦戸湾の底質*

山 本 広 志**

Oceanographical Studies on Japanese Inlets (8)
Differences between Urado Bay and Uranouchi Bay with reference to the Chemical Composition of Bottom Mud. (Part 1) Sediment in Urado Bay

By

Hiroshi YAMAMOTO

Abstract: In order to make a comparative study between Urado and Uranouchi Bay, which differ from each other in environmental and meteorological conditions, the author tried to make clear the chemical composition of bottom mud in Urado Bay as the first step.

The results of chemical analysis of the samples used for measurements of oxygen consumption noted in the preceding paper were somewhat different from those obtained for the samples newly collected. This fact seems to prove that the conditions of the bottom mud of this inlet are constantly being changed by the tide and the matter that flows in.

The silicate content of bottom muds increases gradually toward the mouth of the bay, being in reverse relation with ignition loss.

The calcium content, which emphasizes the effect of the presence of shells, shows great variation at different spots. Magnesium tends to decrease as calcium increases.

The quantity of other elements is similar to that of the sediments in land water.

1. 緒 言

内湾における底土の化学組成は，陸水の流入や海水の流動状況などによつて当然異ることが予想される．従つて内湾における底土の化学組成を比較することにより，底土がこれらの種々な影響を受けた場合，その化学組成がどのように変化するものであるかを知ることができるものと思われる．この目的を達するため著者は前報[1]における底土の酸素消費作用の研究に使用した試料と同一の試料，及び1958年8月1日に採泥した8個の試料についてSi, Fe, Al, Ca, Mg, Mn, K, Na, 灼熱減量等の化学分析を行つたのでその結果について報告する．

2. 試料及び分析法

1956年8月10日に採泥した22個の試料については，採泥地点及び灼熱減量は既に前報[1]において述べた．

1958年8月1日には第1図に示す地点において採泥を行つた．試料は採泥後実験室に持帰り10分間 4000 r.p.m. の遠心分離によつてできるだけ海水を除去した．その後これを風乾し，更に 110°C で乾燥したものを実験に供した．この処理は前報と同様である．無機成分の系統的分析に当つては

* 1959年7月10日受理

** 高知大学教育学部化学教室 Chemistry Institute, Faculty of Education, Kochi University

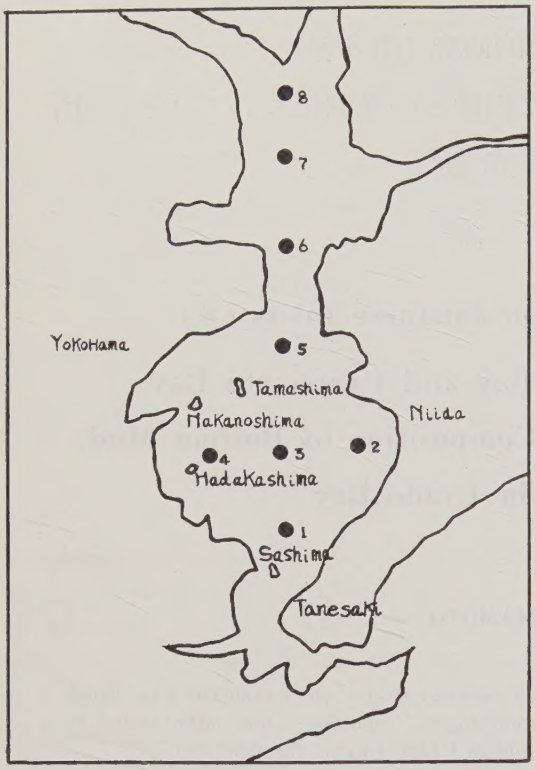


Fig. 1. Stations for collections of mud in Urado Bay.

京大石橋雅義教授が西南太平洋の深海底土[2]及び朝鮮西海岸の浅海底土[3]に対して行つた分析法に準拠して行つた．著者の分析法で異なつていることは，次の通りである．即ち MgO の分析はオキシン塩として沈澱させ，これを塩酸に溶解したのち臭素酸カリウム—臭化カリウムの小過剰及びヨウ化カリウムを加えた後，遊離するヨウ素を 0.025 規定のチオ硫酸ナトリウムで滴定する容量分析法[4]により定量した．また K_2O 及び Na_2O については，別に試料をとりフツ化水素酸でケイ酸を除去したのち，残渣を塩酸に溶解し，常法によつて目的元素以外の元素をそれぞれ除去し，最後にのこつたカリウム及びナトリウムを含む試料溶液について炎光分析により定量した．また吸着海水に由来する塩分[5]は，試料を蒸溜水に懸濁させた溶液中の塩素量を測定することによりこれを補正した．

3. 実験結果及び考察

分析の結果を第1表及び第2表に示す．底土中の Fe は Fe^{II}, Fe^{III} として存在するがこの表においては便宜上 Fe^{III} として示した．第1表は，前報の溶存酸素消費作用の研究に用いた試料と同じも

Table 1. Results of chemical analyses of sediment collected in Urado Bay.

(Collected on Aug. 10, 1956)

St. No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Fe_2O_3	7.97	7.29	8.18	7.33	9.32	7.61	7.65	8.59	7.61	8.19	5.80	7.24
Al_2O_3	28.41	28.12	21.52	23.33	23.63	22.04	32.75	28.20	26.52	24.85	21.62	20.04
MnO	0.62	1.51	1.38	0.80	3.55	0.51	0.49	0.71	0.80	0.36	0.58	1.11
CaO	0.79	0.68	0.79	3.34	1.31	16.52	0.95	3.13	1.27	0.45	2.52	2.49
MgO	1.43	1.31	1.94	1.64	0.79	2.27	0.66	1.58	1.59	1.94	0.19	0.52
SiO_2	58.90	59.37	64.42	62.65	60.67	50.15	56.75	56.72	59.86	62.35	67.22	66.57
Ig. Loss	14.93	16.29	13.92	15.95	10.34	8.38	19.15	15.48	15.11	13.80	10.60	8.98

St. No.	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	average
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Fe_2O_3	8.36	7.42	8.29	8.16	7.08	8.20	8.21	7.80	7.36	8.50	7.91
Al_2O_3	18.36	23.49	21.70	18.33	22.21	14.89	13.33	20.70	20.88	19.39	22.48
MnO	0.53	0.53	2.11	2.04	0.44	0.93	2.22	0.62	3.00	0.36	1.23
CaO	1.29	1.17	0.76	0.84	1.08	1.38	1.58	1.26	0.42	1.23	2.24
MgO	1.87	1.74	1.08	1.81	1.99	1.44	2.42	1.88	1.49	0.08	1.44
SiO_2	67.26	64.37	64.25	66.54	66.90	71.86	68.73	64.32	65.72	68.12	63.44
Ig. Loss	9.28	5.92	7.99	10.71	10.85	7.56	8.17	8.59	6.88	7.74	10.45

Table 2. Results of chemical analyses of sediment collected in Urado Bay.

(Collected on Aug. 1, 1958)

St. No.	1	2	3	4	5	6	7	8	average
	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Fe_2O_3	7.32	8.76	6.16	7.94	8.70	9.90	9.68	14.38	9.11
Al_2O_3	10.12	13.63	13.31	17.51	19.14	17.31	17.70	15.50	15.52
CaO	2.01	1.51	1.68	1.42	0.54	1.83	2.59	1.39	1.62
MgO	1.29	3.48	0.84	1.23	0.79	1.85	2.76	1.15	1.55
K_2O	1.75	0.93	0.89	0.59	0.69	0.16	0.08	2.56	0.96
Na_2O	1.99	1.41	2.98	1.52	1.70	2.62	1.60	2.19	2.01
SiO_2	75.51	70.07	75.10	69.41	68.43	64.86	64.62	62.61	68.83
Ig. Loss	5.83	6.84	8.36	11.92	13.43	16.21	16.53	18.32	

のについての分析結果であり，第2表は1958年8月に採泥した試料の分析結果である．第1表の分析結果にもとづき湾奥部 (St. 1～12) から湾口部 (St. 13～22) までの各試料についてその化学組成がどの様に異るかをみると，SiO_2 では 55.65～8.12%を示し，湾奥部が 55.65～67.22%で，湾口が 62.90～71.86%を示し湾口になるほど次第に多くなる傾向を示している．このような傾向については種々考えられるが，その主なものは底土が潮汐の影響を受けることや，陸水によつて運ばれた懸濁物が湾奥部で多く堆積すること等によるものと考えられる．例えば，湾口部は潮汐によつてたえず底土が洗汰され所謂砂質の底土が多くなり，SiO_2 の量が多くなるが，湾奥部では陸水によつて運ばれた泥や有機物が多く堆積する上に潮汐に影響される程度が少ないので比較的に，SiO_2 の量が少なく測定される．また灼熱減量と SiO_2 との関係については，灼熱減量が増せば逆に SiO_2 の量が少なくなる傾向を示している．Fe_2O_3 は 5.80～9.32%で 地点別にみると測定値に大きな差がみられない．Fe の状態については，大部分 Fe^{II} の状態であり，本湾の底土が極めて還元的であることを示しているがこのことに関しては別に報告したいと考えている．

CaO及びMgOについては，CaO=0.42～19.52%，MgO=0.08～2.42%を示し湾奥部と湾口部との差は大きくない．しかし特別な地点では明らかに底棲生物の影響を受けているものと考えられ大きな値を示す場合もある．例えば地点 8, 11, 12 および 15 等が特に大きい値を示している．これらは主として貝類等の影響によるものと思われる．MgO と CaO との関係は，CaO 量の多いところでは MgO の量が少なく，逆に MgO 量の多いところでは CaO の量が少ない傾向を示している．

Al_2O_3 については，13.33～32.75% を示し，湾奥部が 20.04～32.75%，湾口部が 13.33～23.49% を示し湾口に従つて小さな値となつている．このことは SiO_2 の変化と同様に考えることができると思われる．即ちアルミニウムを多く含んでいる粘土等が陸水によつて運ばれ湾奥部で多く堆積するために，この附近に Al_2O_3 が多い結果を示し，湾口になるに従い潮汐によつて淘汰される傾向が次第に大きくなるために Al_2O_3 の量が少なくなる傾向を示すものと思われる．これは湾口になるに従つてケイ酸の量が増加し逆に灼熱減量が減少する等の事実と一致している．

MnO については 0.36～3.55% を示し，湾奥部が平均 1.14%，湾口部が 1.28% を示して僅かに湾口部の値が大きい．

第2表は，1958年8月1日に採泥した試料の分析結果である．この試料では，前回に分析されなかつた Na および K の傾向を知ることと，比較的潮流の影響が大きい湾の中央部を，湾奥から湾口にかけて採泥し，この間における底土の化学組成の変動についてその消息を明らかにしようとした．分析の結果前回の試料の分析結果と異ることは，Al_2O_3 および CaO がそれぞれ僅かに少なく，鉄および SiO_2 が僅かに多くなつているが概してその平均値は大差がない．

Fe_2O_3 は 6.16～14.38% を示し湾口になるほど

少なくなる傾向があるように思われる．Al_2O_3 については 10.12～19.14%を示し湾奥より湾口に従つて少くなり灼熱減量が 5.83～18.32% を示して湾奥より湾口に従つて少なくなる傾向と一致している．これに対して SiO_2 は 62.61～75.51%を示し，Al_2O_3 や灼熱減量とは逆に湾奥より湾口にかけて多くなる．これらはさきに述べた様に底土が潮汐によつて淘汰されたためであると考えられ，この表に示す分析結果がよくその消息を示しているように思われる．

CaO および MgO については CaO=0.54～2.59%，MgO=0.79～3.48% を示し湾奥から湾口までの変化に関してはいずれも明らかな傾向を認めることができなかつた．St. 8 を除いてはすべて $Na_2O>K_2O$ の関係を示している．湾奥から湾口までの変化については両元素とも明らかでない．これら諸元素の変化は第1表に示した結果からみられる傾向と概ね一致している．

これらの分析結果にもとずき浦戸湾において採取した底土30個の平均値を求めると，Fe_2O_3 8.51%，Al_2O_3 19.05%，CaO 1.93%，MgO 1.49%，MnO 1.23%*，K_2O 0.96%**，Na_2O 2.01%，SiO_2 66.13%が得られた．

本研究に当り御指導を賜つた京都大学石橋雅義教授に深謝すると共に御協力下さつた当教室の今井嘉彦氏に感謝する次第である．

文　献

(1) 山本広志，1959：“本邦内湾の海洋化学的研究(第6報)”，日本海洋誌，**15**，19—22.
(2) 石橋雅義・原田保男，1938：“海洋に関する化学的研究（第2報)”，日化，**59**，569.
(3) 石橋雅義，1940：“水底土に関する化学的研究（第2報)”，農化，**17**，67—70.
(4) 内藤多喜夫，1944：有機試薬による分析法　79頁　南江堂
(5) 浜口博外，1953：“深海底土の化学的研究”，日化，**74**，761.

* 22個の平均値，** 8個の平均値を示す．

The Journal of the Oceanographical Society of Japan
Vol. 15, No. 3 October 1959

本邦内湾の海洋化学的研究 (第9報)
底土の化学的組成による浦戸湾と浦之内湾との異同について (その 2)
浦之内湾の底質*

山本広志**・今井嘉彦**

Oceanographical Studies on Japanese Inlets (9)
Differences between Urado Bay and Uranouchi Bay with reference to the Chemical Compositions of Bottom Mud.
(Part 2) Sediment in Uranouchi Bay

By
Hiroshi YAMAMOTO and Yoshihiko IMAI

Abstract: In this paper the chemical compositions of bottom mud in Uranouchi Bay are described and they are compared with those of Urado Bay, which were described in the preceding paper.

For the samples collected in Uranouchi Bay, each constituent shows less variation in quantity at different points than those collected in Urado Bay.

This inlet can be divided into two parts in view of the character of the bottom. In the interior of the bay each constituent shows little quantitative variation, the variation growing larger from Station 8 to the mouth of the bay. This tendency agrees with the condition of stagnation of water.

The manner of variation in quantity of each constituent is similar to that in Urado Bay, silicate increasing and the others decreasing, from the interior to the mouth.

1. 緒　言

前報[1]では浦戸湾の底土の化学組成について述べたが，本報では陸水の影響が極めて少ないと思われる浦之内湾で採泥した試料の化学分析を行つた．それらの分析結果にもとづき本湾における底土の化学組成を明らかにし，更に前報の浦戸湾における結果と比較することによつて，底土が陸水や潮汐の影響を受ける程度の差によつてどの様にその化学組成が異るかを明らかにしようとしたものである．

2. 試料及び分析法

第1図に示す地点で1956年7月1日に採泥した12個の試料について化学分析を行つた．試料の処理及び分析の方法はすべて前報[1]と同様である．

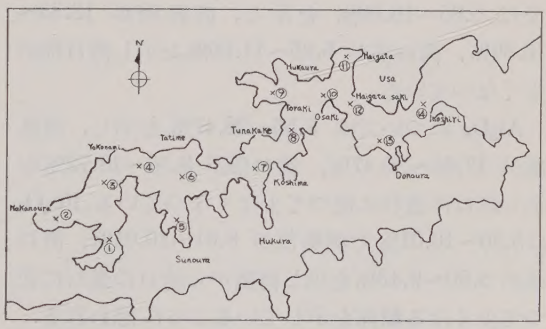


Fig. 1. Stations for collection of mud in Uranouchi Bay.

* 1959年7月10日受理
** 高知大学教育学部化学教室　Chemistry Institute, Faculty of Education, Kochi University

Table 1. Results of chemical analyses of sediment collection in Uranouchi Bay.
(Collected on Jul. 1, 1956)

St. No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	average
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Fe_2O_3	9.37	8.01	9.15	9.15	9.98	10.01	9.26	8.46	8.11	6.77	9.43	5.50	8.59
Al_2O_3	26.47	20.02	23.24	20.06	19.35	20.09	17.64	14.00	16.21	9.93	18.72	8.56	17.86
MnO	0.55	2.87	2.36	3.75	0.45	2.51	5.40	0.87	0.66	0.60	0.14	0.06	1.68
CaO	2.41	1.82	1.32	1.26	1.77	2.21	2.65	1.91	2.08	2.69	1.78	1.39	1.99
MgO	1.35	2.03	2.08	3.00	3.04	3.06	2.85	2.91	2.64	2.44	2.28	1.97	2.47
K_2O	0.62	2.08	2.01	1.85	1.53	1.87	1.53	1.04	0.84	0.81	0.69	0.58	1.28
Na_2O	1.57	2.72	2.42	2.66	2.72	2.47	2.26	1.56	1.25	1.32	1.46	1.39	1.90
SiO_2	57.02	59.97	57.30	57.60	60.02	56.04	58.61	66.00	63.53	75.62	64.82	80.09	62.11
Ig. Loss	14.93	12.90	13.51	12.33	16.69	14.53	13.85	10.95	9.29	8.10	11.00	5.85	12.08

3. 実験結果及び考察

分析の結果は第1表に示す．即ちケイ酸の分析値は56.04～80.09%で湾奥部(St. 1～7)は56.04～60.02%を示し大差がなく，St. 8 から湾口までは66.00～80.09% で湾口になるほどケイ酸の値が大きくなる傾向[1]を示している．このことは湾内における海水の流動状況[2]とも一致している．即ちSt. 1 より St. 7 までは海水が停滞し，潮汐によつて底土が淘汰される程度も少ない．これに対して St. 8 附近から湾口までは潮汐によつてたえず底土が淘汰され，粘土質の底土から次第に砂質のものに変化しているためであると思われる．この様な傾向は他の成分の変化にもあらわれている．例えばSt. 1 から St. 7 までを湾奥部，St. 8 から St. 14 までを湾口部とすると他の各成分の湾口部と湾奥部との差異は次の如くである．即ち，灼熱減量では 5.85～16.69% を示し，湾奥部が 12.33～16.69%，湾口部が 5.85～11.00%を示し湾口部が少くなつている．

Al_2O_3 については 8.56～26.47% を示し，湾奥部が 17.64～26.47%，湾口部が 8.56～18.72%を示し湾口に進むに従つて少なくなつている．Fe_2O_3 は5.50～10.01%で湾奥部が 8.01～10.01%，湾口部が 5.50～9.43%を示し湾奥から湾口に進むに従つて少くなる傾向を示しているように思われる．浦戸湾における Fe_2O_3 及び Al_2O_3 についての数値 (Fe_2O_3：85%, Al_2O_3：19.05%) と比較すると僅かに Al_2O_3 が少なく Fe_2O_3 が多いが概して大差がみられない．また SiO_2 に対する Fe_2O_3 及び Al_2O_3 の比を浦戸湾と浦之内湾との底土について比較すると第2表に示した如くなり，その平均値は大差がみられない．このことは両湾の底土が本質的に異るものではなくいづれも陸性の粘土に類似した化学組成を示しているものと思われる．

Table. 2. Relation between content of silica and that of iron or aluminium in each bay.

Sample No.	Urado Bay (Aug. 1, 1958)		Uranouchi Bay (Jul.1,1956)	
	SiO_2/Al_2O_3	SiO_2/Fe_2O_3	SiO_2/Al_2O_3	SiO_2/Fe_2O_3
1	7.46	10.32	2.15	6.09
2	5.14	8.00	3.00	7.49
3	5.64	12.19	2.47	6.26
4	3.96	8.74	2.87	6.30
5	3.58	8.87	3.10	6.01
6	3.75	6.55	2.79	5.60
7	3.65	6.68	3.32	6.33
8	4.04	4.35	4.71	7.80
9	—	—	3.92	7.83
10	—	—	7.62	11.17
11	—	—	3.46	6.87
12	—	—	9.36	14.56
average	4.65	8.21	4.06	7.69

CaO については 1.26～2.69% を示し湾奥部が 1.26～2.65%，湾口部が 1.39～2.69%を示し湾口部と湾奥部との差はあまり大きくない．MgO についても同様の変化がみられ，1.35～3.06% を示している．CaO と MgO との関係は浦戸湾の場合と同様で CaO の値が大きいところでは MgO の値が小さく，逆に MgO の値が大きいところでは CaO の値が小さくなる傾向を示している．ま

た特別な地点では CaO の量が底棲生物の影響を大きく受けているものとみられ，それらの地点では他の地点に比べて CaO の量が大きくなつている．例えば St. 1 における 2.41%，St. 10 の 2.69% 等は他の地点よりも大きい．これらの地点の底土には多数の貝類が混在していた．MgO の値が小さな地点は St. 1, 2, 3 および湾口部の St. 12 でこれらの地点では 1.35～1.97%を示し，その他の地点では 2.28～3.00%を示している．

Na_2O および K_2O については，Na_2O=1.25～2.72%，K_2O=0.58～2.08%を示し St.1 より St. 7 までは顕著な差がなく平均 K_2O=1.64%，Na_2O=2.43%を示す．St. 8 より湾口にかけては両成分共少くなる傾向を示している．

MnO については 0.06～5.40%を示し湾奥部が 0.55～5.40%，湾口部が 0.06～0.87%で湾口部になると少なくなる傾向を示している．これら各成分の傾向は浦戸湾と同様である．両湾における底土の化学組成の差異は第3表に示した数値によつても明らかな如く，浦之内湾は浦戸湾に比べて Al_2O_3, CaO, SiO_2 が僅かに低く，他は僅かに大きな値を示すが全般的にみると同様な組成を示している．このことから両湾の底土については特異的な差異がないものとみられる．

Table 3. Results of chemical analyses of sediment in each bay.

(average)

	Urado Bay	Uranouchi Bay
	%	%
Fe_2O_3	8.51	8.59
Al_2O_3	19.05	17.86
MnO	1.23	1.68
CaO	1.93	1.99
MgO	1.49	2.47
K_2O	0.96	1.28
Na_2O	2.01	1.90
SiO_2	66.13	62.11
Ig. Loss	11.32	12.08

要するに底土が陸水や潮汐により淘汰されると SiO_2 の値が大きくなり，Fe_2O_3, MgO, CaO は大差がなく Al_2O_3, K_2O, Na_2O 及び灼熱減量等の値が小さくなる傾向を示し，浦戸湾の場合と概して同様な傾向を示していると思われる．ただ両湾の特徴とするところは，これらの傾向が浦戸湾で強く示され，浦之内湾では湾奥部における底土の化学組成がどの様な地点でも大差がないことなどであろうかと思われる．

本研究に当り御懇篤な御指導を賜つた京都大学理学部石橋雅義教授に深謝する次第である．

文　献

(1) 山本広志 1959：
“本邦内湾の海洋化学的研究（第8報）”，日本海洋誌 **15**, 99～102.

(2) 山本広志 1959：
“同上（第5報）”日本海洋誌，**15**, 15—18.

Digitized by the Internet Archive
in 2025

https://archive.org/details/journal-of-oceanography_1959-10_15_3

The Journal of the Oceonographical Society of Japan
Vol. 15, No. 3 October 1959

東支那海底土の海洋化学的研究 (II)
炭酸塩及び可溶性珪酸含量について*

細川 巖** 岡部史郎** 浜田七郎***

Oceanographical Studies on Sediments of East China Sea
(II) On Carbonate Contents and Soluble Silicate

Iwao HOSOKAWA, Shiro OKABE, Shichiro HAMADA

Abstract: Distributions of carbonate and soluble silicate are studied, and the relations of carbonate contents to latitude, depth, seasons, mud contents and total nitrogen are discussed.

Mean values of carbonate content is maximum in Southern portion in this sea (4.14 CO_2 weight %), next in Middle area (4.04%) and minimum in Northern (1.78%).

Soluble silicate to Na_2CO_3 aq. solution is determined, and the relations of this contents to depth, mud content, seasons and SHIOME Line are discussed. Soluble silicate decreases with the depth and shows a peak in August. From these points, values of soluble silicate may be concerned with sedimentation velocity of deposits in this sea.

前報につづき東支那海底土試料につき炭酸塩含量及び可溶性珪酸量について検討した結果を報告する.

〔試料〕 すべて前報のものと同一であるが風乾試料を 100メッシュの篩で処理しこれを通過した部分を 105°C 附近で乾燥して実験に供した.

〔分析法〕 炭酸塩含量は小山法[1]により定量した. 即ち, 試料約 1 g を分解瓶にとり硫酸を加えて炭酸ガスを発生させ, これに水素気流を送つて完全にバリタ水に吸収させたのち, 未反応のバリタ水を塩酸で滴定する. 更に空試験を行つて両者の数値の差から炭酸塩を算出し CO_2 (重量%) であらわした.

可溶性珪酸は, 試料約 1 g に 5%炭酸ソーダ水溶液 150 cc を加えて時々振り, 1 夜放置して上澄液 2~5 cc をとり, これを定容にうすめた後, 常法によつて珪モリブデン青を発色させ, 655 mμ のフイルターを用い平間式光電比色計で比色し, これを可溶性珪酸として SiO_2 (mg/g) であらわした,

〔実験結果及び考察〕

1) 炭酸塩含量 第1図に炭酸塩含量の平均値と各緯度との関係を示す. 同図から明らかなように, 一般に緯度が高くなるに従い底土中の炭酸塩は減少する. 又, 時季的な変化としては, 6 月に採集した試料が各緯度でいづれも高い値を示し

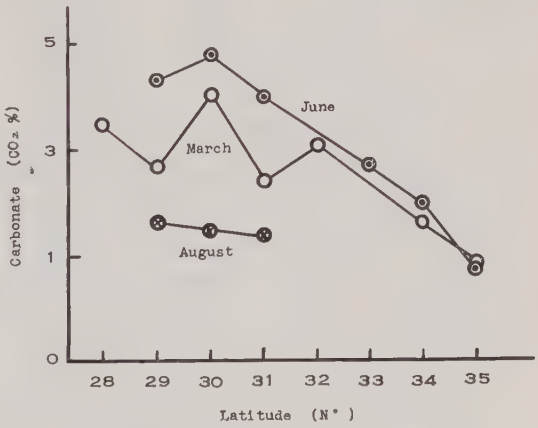


Fig. 1. Relation of carbonate content to latitude.

* 1959年4月28日受理
** 福岡学芸大学 (福岡市) Fukuoka College of Liberal Arts (Fukuoka City)
*** 西海区水産研究所 Western Sea Regional Fisheries Research Laboratory (Nagasaki City)

ているのに対し，8月では低い値を示している．これらの傾向は太平洋海底土について，TRASK[2] やREVELLE[3] が既に報告している事実とよく一致している．

これらの測定値のうち，3月及び6月の試料について等量線をひくと第2図のようになる．即ち，北部水域では炭酸塩含量は南下するに従い増加するが，中部及び南部水域ではいづれも陸岸から遠ざかるに伴い増加の傾向にある．今，炭酸塩含量と水深の関係を図示すると，第3図の通り，中部及び南部では水深の増加と共に炭酸塩含量が増加する傾向にあるのに対し，北部水域では反対に減少の傾向にある．

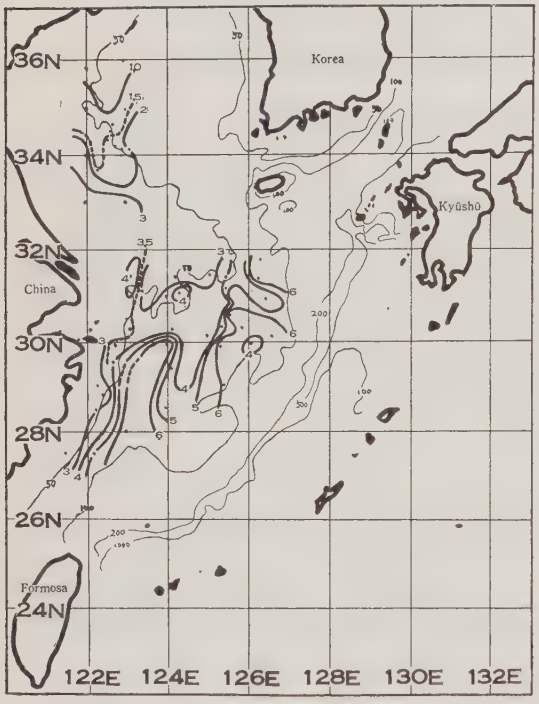


Fig. 2. Distribution of carbonate (CO_2%).

Table 1. Relation of carbonate content to sea area.

Area	N	M	S
Latitude (N°)	33～36	30～32	<30
Sample	14	25	10
Carbonate (CO_2%)	1.78	4.04	4.14

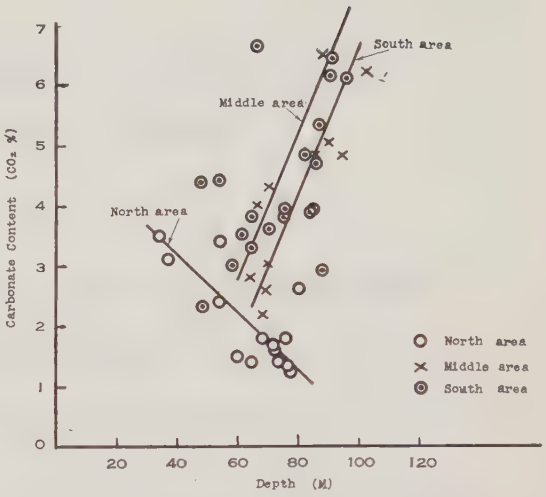


Fig. 3. Relation of carbonate content to water depth.

今，東支那海水域を第1表の通り北，中，南の三域にわけてその底土資料中の炭酸塩含量の平均値を算出すると，3者のうち北部水域の炭酸塩含量が著しく小であることがわかる．

上述の2点，即ち炭酸塩含量と水深，及び緯度との関係において北部水域の底土が他の水域に比し著しく特異性をもつている点は，東支那海底土試料における大きな特徴であると認められる．

更に，炭酸塩含量と全窒素量との関係を第4図に示すと，前者の増加と共に後者は減少の傾向にあることが認められる．この現象は，有機物にとむ水域ほど，その分解によつて生ずる炭酸ガスが多量に発生するので，従つて底土中の炭酸塩の溶解が盛んに行われることに起因するものと推測されるが，他方，有機物にとむ水域では，前報の通り，泥土含量も一般に多くなるので，泥土の沈積による炭酸塩の稀釈化も考慮の必要があるため，現在のところこれ以上の推論はできがたい．詳細の検討は今後の研究にゆづり今報ではこれらの事実を指摘するに止める．

2) 可溶性珪酸　第5図に緯度と可溶性珪酸の関係を示した．同図から明らかなように，北部水域及び南部水域では可溶性珪酸が多く，又季節的には8月が最高で6月が最低となつており，炭酸塩の場合とは対蹠的である．又3月及び6月の試料につき東支那海全域にわたる分布をみると，

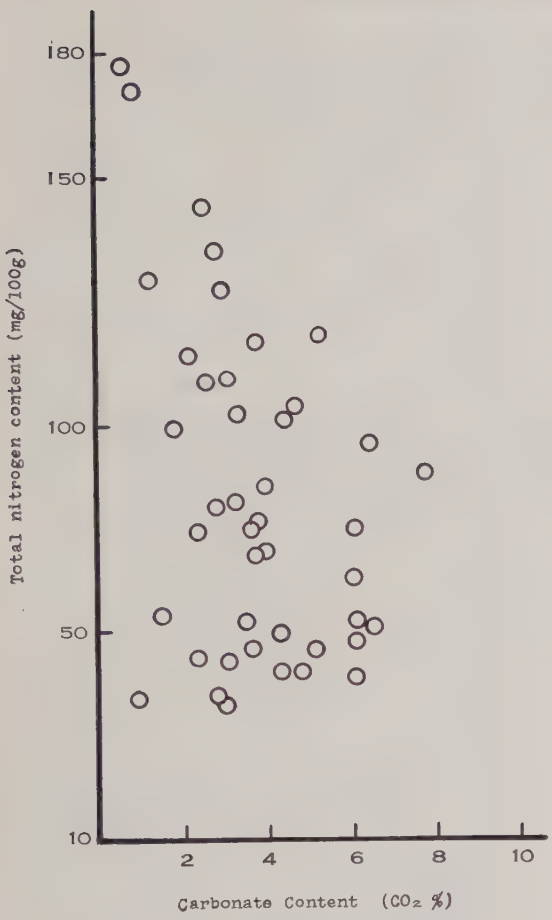


Fig. 4. Relation between carbonate and total nitrogen.

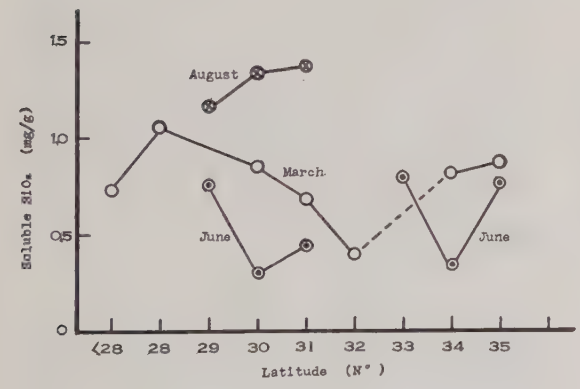


Fig. 5. Relation of soluble silicate to latitude.

第6図の通り，その分布はかなり潮目と関係をもつている．今，可溶性珪酸量と水深の関係をみると，第7図の通り，両者は逆相関の関係にあり，水深の増加と共に可溶性珪酸は急激な減少を示し

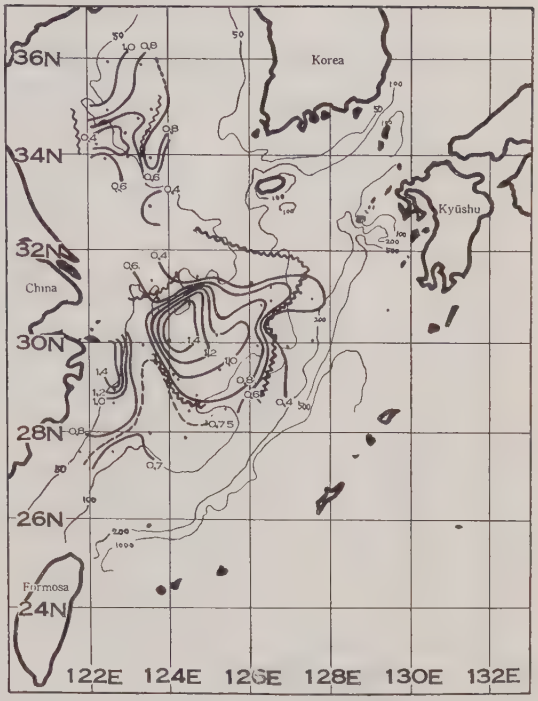


Fig. 6. Distribution of soluble silicate (mg/g).

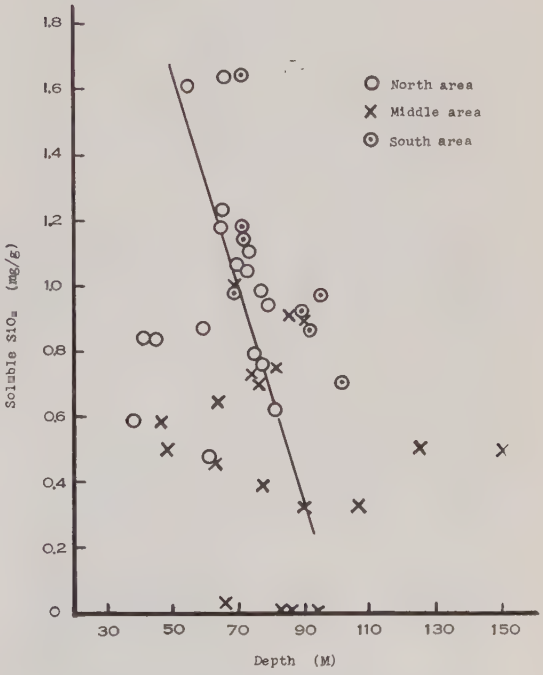


Fig. 7. Relation of soluble silicate to depth.

ている．以上の諸点からみて，可溶性珪酸は水深の小さい，河川の流出口沖合附近に多く，水深を増すにつれて減少しているが一般に潮目附近を限界として急激な減少を示すことがわかる．

次に可溶性珪酸と炭酸塩の関係を図示すると第8図の通り，後者の増加と共に前者は著しく減少していることが認められる．

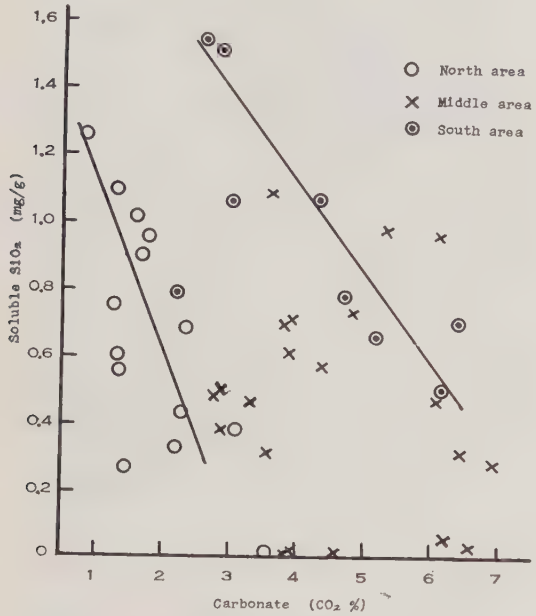


Fig. 8. Relation of soluble silicate to carbonate.

又，有機炭素と可溶性珪酸の関係を第9図に示すと，前記の炭酸塩の場合と同様に，後者の増加に伴い前者は減少している．

扨，この可溶性珪酸の地球化学的意義については未だ明かではないが，最近のソ連学者[4) 5)]の見解に従い，これらが新鮮な堆積物から溶出するものと仮定すれば，可溶性珪酸の多少によつて泥土堆積物又は有機珪素物質の沈積速度を推定することが可能となり，この考えを上記の結果に適用すると，黄河その他の河川の流入等により高緯度の水域で含珪素物質の堆積が多く，中南部両水域では，揚子江等から流入する珪酸塩が揚子江沖合に著しく多量堆積することがわかる．従つて，時季的には雨期後の8月に可溶性珪酸が最大値を示すことは当然であり又，水深が増加するほど減少の傾向を示すことも妥当である．更に，上述の炭酸塩及び有機炭素と可溶性珪酸との関係は，珪素質物質の堆積によつて炭酸塩及び有機物が稀釈される結果として説明されるが，この見解は又，可溶性珪酸の一番多い8月に炭酸塩が最小値を示し，反対に6月には逆の関係を示す事実によつても支持される．翻つて，これらの現象から，上述の可溶性珪酸が新らしく堆積した珪酸塩物質に由来するものであるとする仮定は甚しく不当なものでないことがわかる．

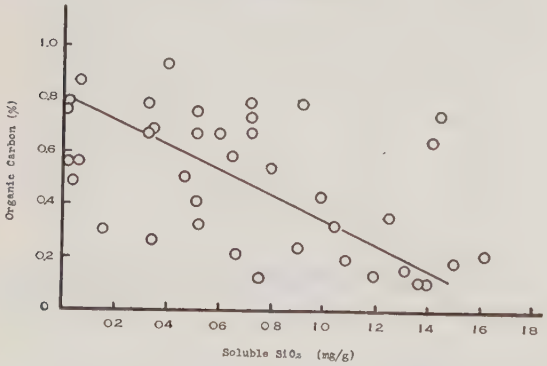


Fig. 9. Relation of soluble silicate to organic carbon.

以上を要約すると

1) 東支那海底土の炭酸塩含量は高緯度の水域ほど小である．又，低緯度水域の炭酸塩は水深と共に増加するが，高緯度の水域では逆に減少する．
2) 炭酸塩含量と有機炭素及び全窒素含量は逆相関的な関係にある．
3) 可溶性珪酸量は河川による流入物の堆積と著しい関係にあり，新らしく堆積した珪酸物質に由来するものと認められる．
4) 可溶性珪酸と炭酸塩含量との間には逆相関的な関係があり珪素質堆積物の沈積によつて炭酸塩が稀釈される傾向が窺われる．

終りに長崎海洋気象台加藤成夫氏の貴重な御示唆に対し厚く感謝する。

文　献

1) KOYAMA, T.: (1953) J. Earth Sci. Nagoya Univ., **1**, 107.
2) TRASK, P. D.: (1939) U.S. Geol. Survey, Prof. Paper 186, p. 273—299.
3) REVELLE, R.: (1936) After Sverdrup's "The Oceans"
4) LISTSYM, A.P.: (1955) Doklady, Akad. Nauk S.S.S.R. **103**, 479; Chem. Abst. **50**, 238.
5) BEZRUKOV, P. L.: (1955) Doklady Akad. Nauk S.S.S.R. **103**, 473; C.A. **50**, 2383.

The Journal of the Oceanographical Society of Japan
Vol 15, No. 3 October 1959

Intensity of Illumination at a Small Plate Lowered in Lake or Marine Water*

Masayuki MUKAI**

Abstract: Supposing a small plate is horizontally lowered into lake or marine water, the author has calculated, on both surfaces of it, the intensity of illumination due to the light which, coming from the direct solar radiation penetrating into the water, is primarily scattered by the water. Assuming at first the isotropic scattering and then the Rayleigh scattering the calculation has been promoted, and the following results have been revealed.

In both cases, as the depth of the water down to the lowered plate increases the intensity at the surface facing upward increases at first, then it reaches its maximum value, and then gradually decreases, showing a point of inflexion at a certain depth.

And the intensity at the surface facing downward exponentially decreases in both cases, as the depth increases.

I Introduction

Lake or marine water generally contains a great number of suspended particles. They are various in size and shape, and most of them are supposed to be fairly large compared with the colloidal particles.

Sometimes the surface of a lake or the part of the sea is calm, but generally it is more or less in motion, and further, there take place various kinds of circulation of water throughout the year. From these phenomena, the author thinks that the suspended particles in the epilimnion of many lakes and some parts of the sea are brought to uniform distribution with irregular orientations; though there are several actions to classify themselves into different layers.

When the ray of light penetrates into the water it partially polarises, but its degree is very small if the angle of refraction of light is not conspicuous; and the phenomenon of scattering of light caused by a comparatively larger particle is supposed to be closely connected with the reflection and diffraction; and with the fact of irregular orientations of the particles, the author proceeds to think that if we take a small volume of water containing fairly large number of suspended particles, the total volume of light scattered by the matter in it may sometimes be supposed to be in nearly uniform distribution in all directions.

On the conception of isotropic scattering at first, with the assumption that there are no self-luminous particles or substances which exhibit the phenomena of fluorescence, and also neglecting the Raman effect, he promoted the calculations of the intensities at both surfaces of the lowered small plate.

The scattering of light, however, cannot always be assumed to be uniform in all directions in all lakes and in all parts of the sea; he therefore calculated the intensities, as one of the casess of non-uniformity, on the assumption that Rayleigh scattering occurs either in lake water or marine water.

In both cases, the primary scattering alone has been considered; about the intensity due to the secondary scattering, and that due to the sky light, he wishes to report in successive papers.

II Intensity at the surface of the plate facing upward in the case of isotropic scattering

Take a vertical line passing through a certain point on the lowered plate as ζ-axis downward direction as positive, and the point

* Received Feb. 18, 1959.

** Faculty of Liberal Arts and Science, Shinshu Univ.

a of intersection of this line with the surface of the undisturbed water as the origin of the coordinate axes. Instead of the rectangular coordinates, take the cylindrical coordinates and denote the coordinates by r, θ, ζ.

Consider a volume element $rd\theta dr d\zeta$ at a point whose coordinates are (r, θ, ζ). Denote this volume element by A (Fig. 1). Denote

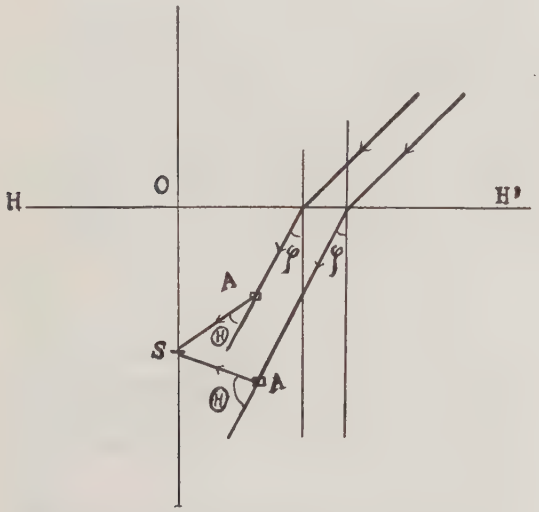


Fig. 1. Arrow lines represent the rays of the solar light and of the scattered light.
HH': Surface of the lake or sea.
S: A small plate let down horizontally into the water.
A's: Volume elements.
O: Origin of the coordinates.
φ: Angle of refraction.

the area of the lowered plate by δs and δs being considered adequately small, the solid angle $\delta\omega$ at A subtended by the plate is given by

$$\delta\omega = \frac{(z-\zeta)\,\delta s}{\{r^2+(z-\zeta)^2\}^{\frac{3}{2}}} \qquad z>\zeta\,, \quad \cdots(1)$$

where z is the distance from the surface of lake or sea to the plate.

After penetrating into the water the direct solar radiation travels a distance $\zeta \sec\varphi$ to reach A, where φ is the angle of refraction of the solar light. The rays of the solar light are taken to be parallel, neglecting the small deviations. If the direct solar light alone is considered, the intensity I_1 due to it on the horizontal surface at A will be given by

$$I_1 = I_0 e^{-\alpha\zeta\sec\varphi}\,,$$

where I_0 denotes the intensity due to the direct solar radiation on the horizontal surface just below the surface of the lake or sea, α the extinction coefficient, and e the base of natural logarithm.

From the above formula we have

$$dI_1 = -\alpha\sec\varphi\, I_0 e^{-\sec\varphi\alpha\zeta}\, d\zeta\,,$$

from which we have

$$dI_1\, rd\theta dr d\zeta = -\alpha\sec\varphi\, I_0 e^{-\sec\varphi\alpha\zeta}\, rd\theta dr d\zeta\,,$$

which would show the decrement of the light in transit through the volume element A.

Part of it is truly absorbed by the matter in A, and the rest of it is scattered in all directions. The amount of light scattered by A is given by

$$\alpha_s \sec\varphi I_0 e^{-\sec\varphi.\alpha\zeta}\, rd\theta dr d\zeta$$

where α_s denotes the coefficient of scattering.

Part of the light scattered by A, again having its intensity decreased by absorption and secondary scattering, reaches the lowered plate. As the scattering is assumed to be uniform in all directions, the amount of light which reaches the plate from A is given by

$$\alpha_s\sec\varphi I_0 e^{-\sec\varphi.\alpha\zeta}\frac{\delta\omega}{4\pi}e^{-\alpha\sqrt{r^2+(z-\zeta)^2}}$$

Therefore, if the primarily scattered light alone is considered, the amount of the light reaching the surface of the plate facing upward would be given by the following integral

$$\int_0^z\int_0^\infty\int_0^{2\pi}\alpha_s\sec\varphi\, I_0 e^{-\alpha\zeta\sec\varphi}\frac{(z-\zeta)\,\delta s}{4\pi\{r^2+(z-\zeta)^2\}^{\frac{3}{2}}} \times e^{-\alpha\sqrt{r^2+(z-\zeta)^2}}\, rd\theta dr d\zeta\,, \qquad \cdots\cdots(2)$$

in which $\delta\omega$ is substituted by (1). Here the primarily scattered light, which is reflected back into the water at the surface of the lake or sea, is not considered.

The primarily scattered light which contributes to the illumination of the surface of the plate facing upward, is the light scattered by all the water which fills the

upper part of the volume of the lake limited by the plane which contains the plane of the plate. It is, however, to be remarked here that the light scattered by the water which is fairly distant from the plate contributes very little to the illumination. Therefore, if the place at which the plate is lowered is distant in some degree from the shore of a fairly deep lake or sea, the limits of integration of (2) may be taken for θ, from 0 to 2π, for r, from 0 to infinity, and for ζ from 0 to z.

The intensity of illumination I_2 at the plate is the quotient of (2) divided by δs. Now integrating it with respect to θ, and arranging the result we obtain

$$I_2=\frac{1}{2}\alpha_s \sec\varphi I_0 \int_0^z (z-\zeta)\, e^{-\alpha\zeta\sec\varphi} \times\left(\int_0^\infty \frac{e^{-\alpha\sqrt{r^2+(z-\zeta)^2}}}{\{r^2+(z-\zeta)^2\}^{\frac{3}{2}}} r dr\right) d\zeta . \qquad (3)$$

Put

$$\alpha\sqrt{r^2+(z-\zeta)^2}=u ,$$

then

$$\int_0^\infty \frac{e^{-\alpha\sqrt{r^2+(z-\zeta)^2}}}{\{r^2+(z-\zeta)^2\}^{\frac{3}{2}}} r dr=\alpha\int_{\alpha(z-\zeta)}^\infty \frac{1}{u^2} e^{-u} du$$

$$=\frac{1}{z-\zeta} e^{-\alpha(z-\zeta)}+\alpha e^{-\alpha(z-\zeta)} \log\alpha(z-\zeta)$$

$$+\alpha\gamma+\alpha\int_0^{\alpha(z-\zeta)} e^{-u}\log u du \qquad (4)$$

where γ is Euler's constant with the value of 0.577215..... .

Replace $\alpha(z-\zeta)$ by v, and integrate the last term successively repeating the integration by part, then we obtain an infinites series

$$e^{-v}\sum_{n=1}^\infty \frac{1}{n!} u^n (\log v-h_n),$$

where

$$h_n=\sum_{k=1}^n \frac{1}{k} .$$

The above infinites series is convergent for all finite values of v.

Now substitute the result in (4), and substitute the (4) in (3), then we obtain

$$I_2=\frac{1}{2}\frac{\alpha_s}{\alpha}\sec\varphi\, I_0 e^{-\sec\varphi\alpha z}\left\{\int_0^{\alpha z} e^{(\sec\varphi-1)v} dv + \int_0^{\alpha z} v e^{(\sec\varphi-1)v}\log v dv+\gamma\int_0^{\alpha z} v e^{\sec\varphi . v} dv + \int_0^{\alpha z} e^{(\sec\varphi-1)v}\sum_{n=1}^\infty \frac{1}{n!} v^{n+1}(\log v-h_n) dv\right\} . \qquad (5)$$

And

$$\int_0^{\alpha z} e^{\sec\varphi-1)v} dv=\frac{1}{\sec\varphi-1}\left\{e^{(\sec\varphi-1)\alpha z}-1\right\} \qquad (6)$$

$$\int_0^{\alpha z} v e^{\sec\varphi . v} dv=\left(\frac{\alpha z}{\sec\varphi} e^{\sec\varphi . \alpha z}-\frac{1}{\sec^2\varphi} e^{\sec\varphi . \alpha z} +\frac{1}{\sec^2\varphi}\right) . \qquad (7)$$

And successively repeating the integration by part, we obtain

$$\int_0^{\alpha z} v e^{(\sec\varphi-1v)}\log v dv=e^{(\sec\varphi-1)\alpha z}\sum_{n=2}^\infty \frac{1}{n!} \times(-1)^{n-2}(\sec\varphi-1)^{n-2}(\alpha z)^n(\log\alpha z -h_n+1) \qquad (8)$$

Now, as φ is always less than $\frac{\pi}{2}$, $\sec\varphi$ is always finite. Therefore, the above infinites series is convergent for all finite values of αz.

The general term of the last integral of (5) is

$$\int_0^{\alpha z} e^{(\sec\varphi-1)v}\frac{1}{n!} v^{n+1}(\log v-h_n) dv ,$$

which can be integrated with a successive repetition of integration by part, and the result of it is an infinites series

$$e^{(\sec\varphi-1)\alpha z}\sum_{k=2}^\infty \frac{n+1}{(n+k)!}(-1)^{k-2}(\sec\varphi-1)^{k-2} \times(\alpha z)^{n+k}\left(\log\alpha z-h_{n+k}+\frac{1}{n+1}\right) .$$

Therefore

$$\int_0^{\alpha z} e^{(\sec\varphi-1)v}\sum_{n=1}^\infty \frac{1}{n!} v^{n+1}(\log v-h_n) dv =e^{(\sec\varphi-1)\alpha z}\sum_{n=1}^\infty\sum_{k=2}^\infty \frac{n+1}{(n+k)!}(-1)^{k-2}$$

$$\times(sec\varphi-1)^{k-2}(\alpha z)^{n+k}\Big(\log\alpha z-h_{n+k}+\frac{1}{n+1}\Big). \quad (9)$$

This infinites series is convergent for all finite values of αz.

In order to reduce the formula a simpler form, add the results of (8) and (9), and arrange the series in ascending power of αz, then the result of it is

$$e^{(\sec\varphi-1)\alpha z}\sum_{n=2}^{\infty}\frac{1}{n!}(\alpha z)^n\{\Phi_{n-2}+K_{n-2}(\log\alpha z-h_n)\}, \quad (10)$$

where Φ_{n-2} and K_{n-2} are the abbreviations of the following series respectively

$$\Phi_{n-2}=\sum_{i=0}^{n-2}(-1)^i(sec\varphi-1)^i$$

$$K_{n-2}=\sum_{j=0}^{n-2}\Phi_j .$$

Substitute the results of (6), (7) and (10) in (5), then we finally have

$$I_2=\frac{1}{2}\frac{\alpha_s}{\alpha}\sec\varphi\, I_0\Big\{\frac{1}{\sec\varphi-1}\Big(e^{(\sec\varphi-1)z}-1\Big)\times e^{-\sec\varphi.\alpha z}+\gamma\Big(\frac{\alpha z}{\sec\varphi}-\frac{1}{\sec^2\varphi}+\frac{1}{\sec^2\varphi}\times e^{-\sec\varphi.\alpha z}\Big)+e^{-\alpha z}\sum_{n=2}^{\infty}\frac{1}{n!}(\alpha z)^n\{\Phi_{n-2}+K_{n-2}\times(\log\alpha z-h_n)\}\Big\} . \quad (11)$$

III Intensity at the surface of the plate facing downward in the case of isotropic scattering

The surface of the plate facing downward is illuminated by the scattered light alone. And the amount of light, which is scattered by the matter in the volume element A and reaches the plate having its intensity decreased by absorption and scattering, is given by

$$\alpha_s\sec\varphi\, I_0 e^{-\sec\varphi.\alpha\zeta}\frac{(\zeta-z)\,\delta s}{4\pi\{r^2+(\zeta-z)^2\}^{\frac{3}{2}}}\times e^{-\alpha\sqrt{r^2+(\zeta-z)^2}}r d\theta dr d\zeta .$$

Therefore, the intensity of illumination I_3 at the plate, in so as the primary scattering alone is considered, is given by the following integral

$$I_3=\int_z^{\infty}\int_0^{\infty}\int_0^{2\pi}\alpha_s\sec\varphi I_0 e^{-\sec\varphi.\alpha\zeta}\times\frac{\zeta-z}{4\pi\{r^2+(\zeta-z)^2\}^{\frac{3}{2}}}e^{-\alpha\sqrt{r^2+(\zeta-z)^2}}r d\theta dr d\zeta , \quad (12)$$

where the limits of integration are taken for θ, from 0 to 2π; for r, from 0 to infinity as the area δs is considered to be infinitesimally small; and for ζ, from z to infinity because the lake or sea in problem is considered to be fairly deep.

Now in some lakes, there very frequently develops a turbid layer in the thermocline in stagnant state during the period from late summer to early autumn (Mukai 1952, 1956). Strictly saying, therefore, the formula (12) holds in the case, when the scattering by the turbid layer contributes very little to the illumination of the plate, or in the period in which no turbid layer exists.

Integrate (12) with respect to θ, and arrange the result, then

$$I_3=\frac{1}{2}\alpha_s\sec\varphi I_0\int_z^{\infty}(\zeta-z)e^{-\sec\varphi.\alpha\zeta}\Big(\int_z^{\infty}\frac{e^{-\alpha\sqrt{r^2+(\zeta-z)^2}}}{\{r^2+(\zeta-z)^2\}^{\frac{3}{2}}}r dr\Big)d\zeta . \quad (13)$$

Put

$$\alpha\sqrt{r^2+(\zeta-z)^2}=u ,$$

then

$$\int_0^{\infty}\frac{1}{\{r^2+(\zeta-z)^2\}^{\frac{3}{2}}}e^{-\alpha\sqrt{r^2+(\zeta-z)^2}}r dr$$
$$=\alpha\int_{\alpha(\zeta-z)}^{\infty}\frac{1}{u^2}e^{-u}du=\frac{1}{\zeta-z}e^{-\alpha(\zeta-z)}+\alpha e^{-\alpha(\zeta-z)}\log\alpha(\zeta-z)+\alpha\gamma+\alpha\int_{50}^{\alpha(\zeta-z)}e^{-u}\log u\, du .$$

Substitute the result in (13), and again put

$$\alpha(\zeta-z)=x$$

and arrange the formula, then

$$I_3=\frac{1}{2}\frac{\alpha_s}{\alpha}\sec\varphi\, I_0\Big\{\frac{1}{\sec\varphi+1}e^{-\sec\varphi.\alpha z}+e^{-\sec\varphi.\alpha z}\int_0^\infty xe^{-(\sec\varphi+1)x}\log x dx+\gamma e^{-\sec\varphi.\alpha z}\int_0^\infty xe^{-\sec\varphi.x}dx+e^{-\sec\varphi.\alpha z}\times\int_0^\infty xe^{-\sec\varphi.x}\Big(\int_0^x e^{-u}\log u du\Big)dx\Big\}\,. \tag{14}$$

which shows that I_3 exponentially decreases as the depth z increases.

Now

$$\int_0^\infty xe^{-\sec\varphi.x}dx=\frac{1}{sec^2\varphi}\,.$$

$$\int_0^\infty xe^{-\sec\varphi\, x}\Big(\int_0^x e^{-u}\log u du\Big)dx+\int_0^\infty xe^{-(\sec\varphi+1)x}\log x dx=\Big[\Big(-\frac{x}{sec\varphi}e^{-\sec\varphi.x}-\frac{1}{sec^2\varphi}e^{-\sec\varphi.x}\Big)\times\Big(\int_0^\infty e^{-u}\log u du\Big)\Big]_0^\infty+\int_0^\infty\Big(\frac{x}{\sec\varphi}e^{-\sec\varphi.x}+\frac{1}{sec^2\varphi}e^{-\sec\varphi.x}\Big)e^{-x}\log x dx+\int_0^\infty xe^{-(\sec\varphi+1)x}\log x dx=-\frac{1}{\sec^2\varphi}\times\{\gamma+\log(\sec\varphi+1)\}+\frac{1}{\sec\varphi(\sec\varphi+1)}\,.$$

Substitute these results in (14), and arrange the result, then we finally have

$$I_3=\frac{1}{2}\frac{\alpha_s}{\alpha}I_0\Big\{1-\frac{\log(\sec\varphi+1)}{\sec\varphi}\Big\}e^{-\sec\varphi.\alpha z}\,. \tag{15}$$

Put $z=0$ in (15) then

$$I_3=\frac{1}{2}\frac{\alpha_s}{\alpha}I_0\Big\{1-\frac{\log(\sec\varphi+1)}{\sec\varphi}\Big\}$$

which is the intensity at the surface of the plate facing downward, when the plate is considered to be situated just below the surface of the lake or marine water. The results is coincident with the result obtained by L. V. Whitney (Hutchinson, A Treatise on Limnology, Volume 1. p. 403).

Put $\varphi=0$ in (15), then

$$I_3=\frac{1}{2}\frac{\alpha_s}{\alpha}I_0(1-\log 2)e^{-\alpha z}$$

which shows the case when the sun illuminates the lake or marine water vertically downward.

IV Intensity at the surface of the plate facing upward in the case of Rayleigh scattering

When the Rayleigh's law holds in scattering of light, the amount of light which is scattered by the matter in the volume element A, and reaches the lowered plate, having its intensity decreased by absorption and secondary scattering is given by

$$\sec\varphi I_0 e^{-\sec\varphi.\alpha\zeta}k(1+\cos^2\Theta)e^{-\alpha\sqrt{\eta^2+(z-\zeta)^2}}\times rd\theta dr d\zeta\,, \tag{16}$$

where k is considered to be costant, because the states of the suspended particles in all volume elements are considered to be similar in average; Θ denotes the angle between the ray of solar light and the line joining A to the plate (Fig. 1.). The total amount of light scattered upon the Rayleigh's law from a volume element $rd\theta dr d\zeta$ must be equal to $\alpha_s\, dIrd\theta dr d\zeta$, therefore

$$k=\frac{3}{16\pi}\alpha_s\,.$$

Take now the rectangular coordinates, ξ-axis and the origin as before, and η-axis perpendicular to the plane of incidence of the solar light, the ξ-axis accordingly parallel to this plane. Then the direction cosines of the refracted ray are

$$-\sin\varphi\,,\qquad 0\,,\qquad \cos\varphi$$

respectively. And those of the ray, which starts from A, whose coordinates are $(\xi,\ \eta,\ \zeta)$, and reaches the lowered plate, whose coordinates are $(0,\ 0,\ z,)$, are

$$\frac{-\xi}{\sqrt{\xi^2+\eta^2+(z-\zeta)^2}}\,,\qquad \frac{-\eta}{\sqrt{\xi^2+\eta^2+(z-\zeta)^2}}\,,$$

$$\frac{z-\zeta}{\sqrt{\xi^2+\eta^2+(z-\zeta)^2}}\,.$$

Therefore

$$\cos^2\Theta=\left(\frac{\xi\sin\varphi}{\sqrt{\xi^2+\eta^2+(z-\zeta)^2}}+\frac{(z-\zeta)\cos\varphi}{\sqrt{\xi^2+\eta^2+(z-\zeta)^2}}\right)^2. \tag{17}$$

Substitute

$$\xi=r\cos\theta$$
$$\eta=r\sin\theta$$

in (17) and again substitute the result in (16), and divide the formula by δs; then the intensity I_4 at the surface of the plate facing upward is represented by the following integral

$$I_4=\int_0^z\int_0^\infty\int_0^{2\pi}I_0\sec\varphi.e^{-\sec\varphi.\alpha\zeta}\frac{3\alpha_s}{16\pi}\times\frac{z-\zeta}{\{r^2+(z-\zeta)^2\}^{\frac{3}{2}}}\left\{1+\frac{r^2\cos^2\theta}{r^2+(z-\zeta)^2}\sin^2\varphi+\frac{2(z-\zeta)r\cos\theta}{r^2+(z-\zeta)^2}\sin\varphi\cos\varphi+\frac{(z-\zeta)^2\cos^2\varphi}{r^2+(z-\zeta)^2}\right\}e^{-\alpha\sqrt{r^2+(z-\zeta)^2}}r\,d\theta\,dr\,d\zeta\,, \tag{18}$$

where the intensity due to the direct solar light, the sky light, the light engendered by secondary and higher scatterings, and the light reflected back into the water at the surface of the lake or sea are excluded as in the case of isotropic scattering.

At first integrate (18) with respect to θ, then replace $\alpha\sqrt{r^2+(z-\zeta)^2}$ by u and arrange the result, then

$$I_4=\frac{3\alpha_s}{16}\sec\varphi\,I_0\left\{(2+\sin^2\varphi)\int_0^z\alpha(z-\zeta)\times e^{-\sec\varphi.\alpha\zeta}\left(\int_{\alpha(z-\zeta)}^\infty\frac{1}{u^2}e^{-u}du\right)d\zeta+(2\cos^2\varphi-\sin^2\varphi)\int_0^z\alpha^3(z-\zeta)^3e^{-\sec\varphi.\alpha\zeta}\left(\int_{\alpha(z-\zeta)}^\infty\frac{1}{u^4}\times e^{-u}du\right)d\zeta\right\} \tag{19}$$

The integral of the first term in the parenthesis of (19) is of the same form as that when the factor $\alpha\sqrt{r^2+(z-\zeta)^2}$ in the integral of (3) is substituted by u; therefore referring to (11) the result of integration of it will be written as follows

$$\frac{1}{\alpha}\frac{1}{\sec\varphi-1}\left(e^{(\sec\varphi-1)\alpha z}-1\right)e^{-\sec\varphi.\alpha z}+\frac{\gamma}{\alpha}\left(\frac{\alpha z}{\sec\varphi}-\frac{1}{\sec^2\varphi}+\frac{1}{\sec^2\varphi}e^{-\sec\varphi.\alpha z}\right)+\frac{1}{\alpha}e^{-\alpha z}\sum_{n=2}^\infty\frac{1}{n!}(\alpha z)^n\{\Phi_{n-2}+K_{n-2}\times(\log\alpha z-h_n)\}\,, \tag{20}$$

where

$$\Phi_{n-2}=\sum_{i=0}^{n-2}(-1)^i(\sec\varphi-1)^i$$
$$K_{n-2}=\sum_{j=0}^{n-2}\Phi_j$$

In order to integrate the second integral in the parenthesis of (19), transform

$$\int_{\alpha(z-\zeta)}^\infty\frac{1}{u^4}e^{-u}du$$

by repeating the integration by part. The result of integration is as follows

$$\left\{\frac{1}{3\alpha^3(z-\zeta)^3}-\frac{1}{6\alpha^2(z-\zeta)^2}+\frac{1}{6\alpha(z-\zeta)}\right\}\times e^{-\alpha(z-\zeta)}+\frac{1}{6}e^{-\alpha(z-\zeta)}\log\alpha(z-\zeta)+\frac{1}{6}\gamma+\frac{1}{6}\int_0^{\alpha(z-\zeta)}e^{-u}\log u\,du\,.$$

Now substitute the result in the second integral in the parenthesis of (19), and put

$$\alpha(z-\zeta)=v$$

then

$$\int_0^z\alpha^3(z-\zeta)^3e^{-\sec\varphi.\alpha\zeta}\left(\int_{\alpha(z-\zeta)}^\infty\frac{1}{u^4}e^{-u}du\right)d\zeta=\frac{1}{\alpha}e^{-\sec\varphi.\alpha z}\int_0^{\alpha z}\left(\frac{1}{3}-\frac{1}{6}v+\frac{1}{6}v^2\right)\times e^{(\sec\varphi-1)v}dv+\frac{1}{6\alpha}e^{-\sec\varphi.\alpha z}\int_0^{\alpha z}v^3e^{(\sec\varphi-1)v}\times\log v\,dv+\frac{1}{6\alpha}\gamma e^{-\sec\varphi.\alpha z}\int_0^{\alpha z}v^3e^{\sec\varphi.v}dv+\frac{1}{6\alpha}e^{-\sec\varphi.\alpha_z}\int_0^{\alpha z}v^3e^{\sec\varphi.v}\left(\int_0^v e^{-u}\log u\,du\right)dv\,. \tag{21}$$

And

$$\int_0^{\alpha z}\left(\frac{1}{3}-\frac{1}{6}v+\frac{1}{6}v^2\right)e^{(\sec\varphi-1)v}dv$$
$$=\left\{\frac{1}{3(\sec\varphi-1)}+\frac{1}{6(\sec\varphi-1)^2}\right.$$
$$\left.+\frac{1}{3(\sec\varphi-1)^3}\right\}\left(e^{(\sec\varphi-1)\alpha z}-1\right)$$
$$+\left\{\frac{(\alpha z)^2}{6(\sec\varphi-1)}-\left(\frac{1}{6(\sec\varphi-1)}\right.\right.$$
$$\left.\left.+\frac{1}{3(\sec\varphi-1)^2}\right)\alpha z\right\}e^{(\sec\varphi-1)\alpha z} \qquad (22)$$

$$\int_0^{\alpha z}v^3e^{\sec\varphi.v}dv=\left\{\frac{(\alpha z)^3}{\sec\varphi}-\frac{3(\alpha z)^2}{\sec^2\varphi}\right.$$
$$\left.+\frac{6\alpha z}{\sec^3\varphi}\right\}e^{\sec\varphi.\alpha z}-\frac{6}{\sec^4\varphi}\left(e^{\sec\varphi.\alpha z}-1\right) \qquad (23)$$

$$\int_0^{\alpha z}v^3e^{(\sec\varphi-1)v}\log v dv+\int_0^{\alpha z}v^3e^{\sec\varphi.v}$$
$$\times\left(\int_0^v e^{-u}\log u du\right)dv=\int_0^{\alpha z}e^{(\sec\varphi-1)v}\sum_{n=0}^{\infty}\frac{1}{n!}$$
$$\times v^{n+3}(\log v-h_n)dv=e^{(\sec\varphi-1)\alpha z}$$
$$\times\sum_{n=0}^{\infty}\sum_{k=0}^{\infty}\frac{(n+1)(n+2)(n+3)}{(n+4+k)!}(-1)^k$$
$$\times(\sec\varphi-1)^k(\alpha z)^{n+4+k}(\log\alpha z-h_n$$
$$-h_{n+4+k}-h_{n+3}).$$

In order to reduce the last formula to a simpler form, rearrange it in ascending power of αz, then it becomes

$$e^{(\sec\varphi-1)\alpha z}\sum_{n=4}^{\infty}\frac{1}{n!}(\alpha z)^n\left\{\Phi'_{n-4}+K'_{n-4}\right.$$
$$\left.\times(\log\alpha z-h_n)\right\}, \qquad (24)$$

where

$$\Phi'_{n-4}=\sum_{i=0}^{n-4}\frac{(n-1-i)!}{(n-4-i)!}(-1)^i(\sec\varphi-1)^i$$
$$\times(h_{n-1-i}-h_{n-4-i})$$
$$K'_{n-4}=\sum_{j=0}^{n-4}\frac{(n-1-j)!}{(n-4-j)!}(-1)^j(\sec\varphi-1)^j.$$

The series is convergent for all finite values of αz.

Substitute (24) (23) and (22) in (21), and again substitute (21) and (20) in (19), then we finally have

$$I_4=\frac{3}{16}\frac{\alpha_s}{\alpha}\sec\varphi\, I_0(2+\sin^2\varphi)\left[\frac{1}{\sec\varphi-1}\right.$$
$$\times\left(e^{-\alpha z}-e^{-\sec\varphi.\alpha z}\right)+\gamma\left\{\frac{\alpha z}{\sec\varphi}-\frac{1}{\sec^2\varphi}\right.$$
$$\left.\times\left(1-e^{-\sec\varphi.\alpha z}\right)\right\}+e^{-\alpha z}\sum_{n=2}^{\infty}\frac{1}{n!}(\alpha z)^n$$
$$\left.\times\left\{\Phi_{n-2}+K_{n-2}(\log\alpha z-h_n)\right\}\right]$$
$$+\frac{3}{16}\frac{\alpha_s}{\alpha}\sec\varphi\, I_0(2\cos^2\varphi-\sin^2\varphi)$$
$$\times\left[\left\{\frac{1}{3(\sec\varphi-1)}+\frac{1}{6(\sec\varphi-1)^2}\right.\right.$$
$$\left.\left.+\frac{1}{3(\sec\varphi-1)^3}\right\}\left(e^{-\alpha z}-e^{-\sec\varphi.\alpha z}\right)\right.$$
$$+\left\{\frac{(\alpha z)^2}{6(\sec\varphi-1)}-\left(\frac{1}{6(\sec\varphi-1)}\right.\right.$$
$$\left.\left.+\frac{1}{3(\sec\varphi-1)^2}\right)\alpha z\right\}e^{-\alpha z}+\frac{1}{6}\gamma\left\{\frac{(\alpha z)^3}{\sec\varphi}\right.$$
$$\left.-\frac{3(\alpha z)^2}{\sec^2\varphi}+\frac{6\alpha z}{\sec^3\varphi}-\frac{1}{\sec^4\varphi}\left(1-e^{-\sec\varphi.\alpha z}\right)\right\}$$
$$+\frac{1}{6}e^{-\alpha z}\sum_{n=4}^{\infty}\frac{1}{n!}(\alpha z)^n\left\{\Phi'_{n-4}+K'_{n-4}\right.$$
$$\left.\left.\times(\log\alpha z-h_n)\right\}\right]. \qquad (25)$$

V Intensity at the surface of the plate facing downward in the case of Rayleigh scattering

If the coefficients of pure absorption and scattering be constant throughout the water contained in the lake, the intensity I_5 at the surface of the lowered plate facing downward will be represented by the following integral

$$I_5=\int_z^{\infty}\int_0^{\infty}\int_0^{2\pi}I_0\sec\varphi\frac{3\alpha_s}{16\pi}e^{-\sec\varphi.\alpha\zeta}$$
$$\times(1+\cos^2\Theta)\frac{\zeta-z}{\{r^2+(\zeta-z)^2\}^{\frac{3}{2}}}e^{-\alpha\sqrt{r^2+(\zeta-z)^2}}$$
$$\times r\,d\theta\,dr\,d\zeta,$$

where the primary scattering alone is considered.

Replace $\cos\Theta$ by r, θ, $z-\zeta$ as is shown in

(18), integrate it with respect to θ, put

$$\alpha\sqrt{r^2+(\zeta-z)^2}=u\,,$$

and arrange the result, then

$$I_5=\frac{3\alpha_s}{16}\sec\varphi\,(2+\sin^2\varphi)\,I_0\int_z^\infty\alpha(\zeta-z)\times e^{-\sec\varphi.\alpha\zeta}\Big(\int_{\alpha(\zeta-z)}^\infty\frac{1}{u^2}e^{-u}du\Big)d\zeta+\frac{3\alpha_s}{16}\sec\varphi\,(2\cos^2\varphi-\sin^2\varphi)\times\int_z^\infty\alpha^3(\zeta-z)^3e^{-\sec.\alpha\zeta}\times\Big(\int_{\alpha(\zeta-z)}^\infty\frac{1}{u^4}e^{-u}du\Big)d\zeta\,. \tag{26}$$

The integral of the first term is of the same form as that in (13) when the factor $\alpha\sqrt{r^2+(\zeta-z)^2}$ is replaced by u. Therefore, the result of integration of it will, referring to (15), be written as follows

$$\frac{1}{\alpha}\left\{\frac{1}{\sec\varphi}-\frac{1}{\sec^2\varphi}\log(\sec\varphi+1)\right\}e^{-\sec\varphi.\alpha z} \tag{27}$$

Now transform

$$\int_{\alpha(\zeta-z)}^\infty\frac{1}{u^4}e^{-u}\,du$$

repeating the integration by part, and put

$$\alpha(\zeta-z)=x$$

in the integral of the second term of (26), then

$$\int_z^\infty\alpha^3(\zeta-z)^3e^{-\sec\varphi.\alpha\zeta}\Big(\int_{\alpha(\zeta-z)}^\infty\frac{1}{u^4}e^{-u}du\Big)d\zeta=\frac{1}{\alpha}e^{-\sec\varphi.\alpha z}\left\{\frac{1}{3}\int_0^\infty e^{-(\sec\varphi+1)x}\,dx-\frac{1}{6}\int_0^\infty xe^{-(\sec\varphi+1)x}\,dx+\frac{1}{6}\int_0^\infty x^2e^{-(\sec\varphi+1)x}\,dx+\frac{1}{6}\int_0^\infty x^3e^{-(\sec\varphi+1)x}\log x.\,dx+\frac{1}{6}\gamma\int_0^\infty x^3e^{-\sec\varphi.x}\,dx+\frac{1}{6}\int_0^\infty x^3e^{-\sec\varphi.x}\Big(\int_0^x e^{-u}\log u\,du\Big)dx\right\}$$

These integrals are easily integrable. Substitute the results and (27) in (26), then we finally have

$$I_5=\frac{3}{16}\frac{\alpha_s}{\alpha}I_0\Big[(2+\sin^2\varphi)\left\{1-\frac{1}{\sec\varphi}\times\log(\sec\varphi+1)\right\}+(2\cos^2\varphi-\sin^2\varphi)\times\left\{\frac{\sec\varphi}{3(\sec\varphi+1)}-\frac{\sec\varphi}{6(\sec\varphi+1)^2}+\frac{1}{3(\sec\varphi+1)^2}+\frac{1}{2\sec\varphi(\sec\varphi+1)^2}+\frac{1}{\sec^2\varphi(\sec\varphi+1)}-\frac{1}{\sec^3\varphi}\times\log(\sec\varphi+1)\right\}\Big]e^{-\sec\varphi.\alpha z}\,. \tag{28}$$

The formula shows that the intensity I_5 exponentially decreases as the depth of the water down to the lowered plate z increases.

Put $\varphi=0$ in (28), then we have

$$I_5=\frac{\alpha_s}{\alpha}I_0\Big(\frac{11}{16}-\frac{3}{4}\log 2\Big)e^{-\alpha z}\,,$$

which is the case when the sun illuminates the lake or marine water vertically downward.

VI Results of numerical calculations and discussion

The formulae which represent I_2 I_3 I_4 and I_5 are of the shape

$$I_0\frac{\alpha_s}{\alpha}f(\alpha z,\varphi)\,.$$

As this $\frac{\alpha_s}{\alpha}$ is particular to each lake, the author thinks that it may be said, that the measured value of it represented one of the characteristics of each individual lake or the part of the sea.

The dimensions of α and z are L^{-1} and L respectively, therefore αz is dimensionless and also $f(\alpha z,\varphi)$ is a mere number; and therefore the formula are available not only for all lakes and all parts of the sea, but also for all wave lengths of light, in so far as the same law of scattering holds. Accordingly, the values of the formulae $f(\alpha z,\varphi)$ once numerically calculated corresponding to every value of φ and αz, are, to the author's

consideration, widely useful.

The author has numerically calculated the formulae which appear in (11) and (25), the former the case of isotropic scattering and the latter the case of Rayleigh scattering, for several values of αz, taking

$$\varphi = 10°.$$

When $\varphi = 10°$, the zenith distance of the sun corresponding to it is 13° 23′, which is the case frequently realized in many lakes in the world.

The results of numerical calculations are shown in the second and third column of the Table, and they are graphically represented in the Figure 2. Both graphs much resemble

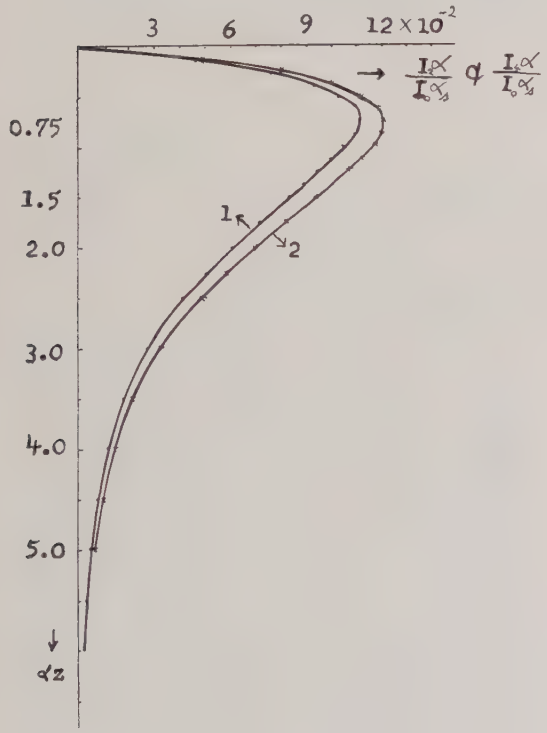


Fig. 2. Graphs representing $\frac{I_2\alpha}{I_0\alpha_s}$ and $\frac{I_4\alpha}{I_0\alpha_s}$: 1, the case of isotropic scattering, and 2, the case of Rayleigh scattering.

each other, and there are no conspicuous differences between the two series of the calculated values. Both graphs show that, at first, near the surface, the intensity increases comparatively rapidly as the depth of the water down to the lowered plate increases, then it reaches its maximum value and then gradually decreases showing a point of inflexion at a certain depth.

From the table and graphs, it is conjectured

Table 1.

I	II	III	IV	V
0.00	0.000	0.000	0.000	0.000
0.125	0.04807	0.04957		
0.25	0.07759	0.08133	0.100	0.105
0.375	0.09565	0.10151		
0.50	0.10595	0.11360	0.176	0.189
0.625	0.11084	0.11989		
0.75	0.11191	0.12200		
0.875	0.11031	0.12103		
1.00	0.10656	0.11774	0.294	0.325
1.125	0.10220	0.11345		
1.25	0.09676	0.10794		
1.375	0.09105			
1.50	0.08476	0.09543	0.389	0.438
1.75	0.07276	0.08246		
2.00	0.06136	0.07010	0.468	0.534
2.25	0.05117	0.05876		
2.50	0.04228	0.04868	0.535	0.616
2.75	0.03469			
3.00	0.02826	0.03322	0.595	0.699
3.50	0.01858	0.02192	0.649	0.766
4.00				
4.50	0.00760	0.00908	0.733	0.876
5.00	0.00488	0.00581	0.782	0.931
5.50	0.00297			
6.00	0.00195		0.863	

I : Numerical values of αz.

II : Numerical values of $\frac{I_2\alpha}{I_0\alpha_s}$ {formula (11)} corresponding to αz.

III : Numerical values of $\frac{I_4\alpha}{I_0\alpha_s}$ {formula (25)} corresponding to αz.

IV : Numerical values of $\frac{I_2\alpha}{I_1\alpha_s}$ corresponding to αz.

V : Numerical values of $\frac{I_4\alpha}{I_1\alpha_s}$ corresponding to αz.

that the values of αz corresponding to the maximum intensities in both cases of isotropic and Rayleigh scattering, are nearly equal and amounts about 0.75.

The fourth and fifth colums of the Table

show the ratio I_2/I_1 multiplied by α/α_s, and the ratio I_4/I_1 multiplied by α/α_s respectively, *viz.* the ratio of $f(\alpha z, \varphi)$ to $e^{-\sec\varphi \cdot \alpha z}$ are shown corresponding to several values of αz, φ being kept to 10°. From them it is evident that the ratio fairly increases as αz increases in both cases.

The intensity at the surface facing downward, in the case of isotropic scattering as well as in the case of Rayleigh scattering, exponentially decreases as the depth of the water down to the lowered plate increases. And if the ratio of the coefficient of scattering, to that of extinction *viz.* α_s/α be equal in both cases, the ratio I_3/I_5 *viz.* the ratio of the intensity in the case of isotropic scattering to that in the case of Rayleigh scattering becomes 0.9190 when $\varphi=10°$.

Concluding this essay, the author wishes to express his sincere thanks to Assist. Prof. Hiroshi AMAKI for his kind advices on the calculations made by the author.

References

HUTCHINSON, G. E. "Scattering of light in lake water" A Treatise on Limnology, Volume 1. p. 403.

MUKAI, M., 1952: "The stagnant turbid layers developed in the thermocline of Lake Aoki and Lake Noziri" Journal of the Faculty of Liberal Arts and Science, Shinshu Univ. No. 2.

MUKAI, M., 1956: "The stagnant turbid layer developed in the thermocline of Lake Noziri" Journal of the Faculty of Liberal Arts and Science, Shinshu Univ. No. 6.

The Journal of the Oceanographical Society of Japan
Vol. 15, No. 3 October 1959

Drop Production by Bursting of Air Bubbles on the Sea Surface (II) Theoretical Study on the Shape of Floating Bubbles*

Yoshiaki TOBA**

Abstract: The shape of a single bubble floating at a gas-liquid interface, and variation of the shape with the bubble size, are calculated numerically in a non-dimensional form. The results are applied to bubbles at an air-sea water interface, and are compared with observations. A critical bubble diameter, found by S. HAYAMI and Y. TOBA (1958), concerning the drop production through *jet disintegration*, is examined by light of the bubble shape, and an explanation for its existence is given. Further, it is suggested, from the calculation of the area of the bubble cap, that the critical diameter represents also a critical point from which the drop production through *film shuttering* may become important.

Possibility of determining the surface tension of a liquid, by way of an observation of a single bubble, is suggested, and a theoretical formula is proposed for this purpose.

1. Introduction

It is believed that, when bubbles burst at the air-sea interface, sea water droplets are produced into the atmosphere, and salt nuclei thus produced play important roles not only in the precipitation process, but in the circulation of material from the ocean to the atmosphere and to the continent. C. F. KIENTZLER et al. (1954) caught photographically the first of the mechanisms of the drop production by bursting bubbles. It is disintegration of water jet formed upon collapse of a bubble cavity. D. C. BLANCHARD and A. H. WOODCOCK (1957) considered that airborne sea-salt nuclei are produced mainly by this process, from fine bubbles smaller than several hundred microns. F. KNELMAN et al. (1954) proposed a second mechanism, that was shuttering of bubble film. D. J. MOORE and B. J. MASON (1954) and B. J. MASON (1955; 1957) also laid stress on it. S. TWOMEY and K. N. MCMASTER (1955) showed that a large number of minute salt nuclei was formed by drying out of a sea water droplet. This is another mechanism of the production of salt nuclei.

K. SUGAWARA and his collaborators (1949; 1953 and 1958) hold, from geochemical studies, that the fractionation of salts in sea water occurs when and after the sea water droplets are produced at the air-sea interface, and sea-salt particles of different constituents are distributed in the atmosphere. L. FACY (1951) distinguished, with an electron microscope, small droplets of different components in products of the bursting of sea water foam. These imply that one of the above mechanisms alone is not especially important.

S. HAYAMI and Y. TOBA (1958) studied aspects of the drop production through the jet mechanism for bubbles over a wide diameter range at a still air-sea water interface, and found a critical diameter of about 4 mm in equivalent diameter (the diameter of sphere of the same volume with a bubble), namely, the efficiency of drop ejection of a bubble larger than the diameter, fell rapidly from 100 per cent for a bubble of about 4 mm, to a few per cents for a bubble of 6 mm, while smaller bubbles ejected drops regularly upon bursting. This diameter is considered to represent a limiting bubble size for the significant jet mechanism. However, larger bubbles have still larger caps which protrude on the interface and may shutter upon bursting into numerous fine droplets.

* Received Sep. 4, 1959.
** Geophysical Institute, Kyoto University.

It can well be supposed that variety of bubble size means variety of mode of bursting and drop production, which brings forth variety of sea-salt nuclei of different composition and characteristics, which may have their respective roles in meteorological and geochemical phenomena.

This report deals theoretically with the shape of floating bubbles, in order to understand the existence of the above mentioned critical diameter, and also to obtain some insight concerning the relation between bubble size and mode of bursting and drop production.

2. Theoretical determination of the shape of a single bubble floating at a gas-liquid interface

The surface of a bubble floating at a gas-liquid interface consists of three parts, the portion I: the submerged area of the inner gas-liquid interface; the portion II: bubble cap or the thin film of the liquid which protrudes on the liquid surface; and the protion III: the surrounding region which tails far from the border of the thin film. Neglecting the thickness, consequently the weight of the thin film, and considering that the difference between the gas pressure on both sides of the film is uniform, the cap can be treated as a spherical surface of a radius of R_0. The equations of equilibrium of forces at any point of these surfaces are,

$$(\rho-\rho')gz=\gamma\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}-\frac{4}{R_0}\right) \qquad (1)$$

for portion I,

$$p=p_0+\frac{4\gamma}{R_0} \qquad (2)$$

for portion II, and,

$$(\rho-\rho')gz=\gamma\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right) \qquad (3)$$

for portion III respectively, where γ represents the surface tension of the liquid; ρ and ρ' the density of the liquid and the gas respectively; g the acceleration of gravity; R_1 and R_2 the principal radii of curvature of surface at a point, of which the elevation above the still gas-liquid interface is z; and p and p_0 the gas pressure inside and outside the bubble, respectively.

One principal radius of curvature at any point of the surface of revolution, equals always to the length of the normal at the point of the surface to the axis of revolution. The other one equals to the radius of curvature of a meridian curve. Let x denote the distance from the axis of revolution to any point of the surface; s the arc distance along a meridian curve; and φ the angle that the tangent of the meridian curve makes with the horizontal, then the principal radii of curvature can be wrote as,

$$\frac{1}{R_1}=\frac{\sin\varphi}{x},$$

$$\frac{1}{R_2}=\frac{d\varphi}{ds}=\frac{d(\sin\varphi)}{dx}=\frac{d(-\cos\varphi)}{dz},$$

and,

$$\frac{dz}{dx}=\tan\varphi.$$

Using capillary constant a^2, that has a dimension of square length, and is definable by a equation

$$\frac{(\rho-\rho')g}{\gamma}=\frac{2}{a^2} \qquad (4),$$

translate x, z, R_0, etc. to dimensionless quantities $\bar{x}$, $\bar{z}$, $\bar{R}_0$, etc. by

$$x=a\bar{x},\quad z=a\bar{z},\quad R_0=aR_0,\quad \text{etc.} \qquad (5).$$

Further, take new ordinates $\bar{z}_1$, that has its origin at the deepest point or the bottom of a bubble ($\bar{z}=-\bar{h}$) for portion I, and $\bar{z}_2$, that has its origin at the centre of the sphere ($\bar{z}=-\bar{l}$) for portion II, namely,

$$\bar{z}_1=\bar{z}+\bar{h},\quad \bar{z}_2=\bar{z}+\bar{l} \qquad (6),$$

respectively. Then, one obtains, instead of the equation (1),

$$\left.\begin{aligned}\frac{d\bar{z}_1}{d\bar{x}}&=\tan\varphi\\ \frac{d(\sin\varphi)}{d\bar{x}}&=2\bar{z}_1-\frac{\sin\varphi}{\bar{x}}+\theta\end{aligned}\right\} \qquad (7),$$

or,

$$\left.\begin{aligned}\frac{d\bar{x}}{d\bar{z}_1}&=\cot\varphi\\ \frac{d(\cos\varphi)}{d\bar{z}_1}&=-2\bar{z}_1+\frac{\sin\varphi}{\bar{x}}-\theta\end{aligned}\right\} \qquad (8),$$

where,

$$\theta=\frac{4}{R_0}-2\bar{h} \qquad (9),$$

and the equations (7) and (8) are used for

$\tan\varphi<1$ and $\tan\varphi>1$, respectively. Instead of the equation (3), one obtains,

$$\left.\begin{aligned}\frac{d\bar{z}}{d\bar{x}}&=\tan\varphi\\ \frac{d(\sin\varphi)}{d\bar{x}}&=2\bar{z}-\frac{\sin\varphi}{\bar{x}}\end{aligned}\right\}\qquad(10),$$

and, for portion II,

$$\bar{z}_2=(\bar{R}_0^2+\bar{x}^2)^{\frac{1}{2}}\qquad(11).$$

Except what θ means, the equations (7) and (8) are essentially the same with the equation for the meniscus, and the equation (10) is that for disk curve.

The equations (7) and (8) were calculated for $\theta=20$, 7, 4, 3, 2.4, 2, 1.6 and 1, respectively, by the Method of RUNGE-KUTTA, for the condition that $\bar{x}=\bar{z}_1=0$ at $\varphi=0$. Relations,

$$\frac{1}{\bar{R}_1}=\frac{\sin\varphi}{\bar{x}}=\frac{1}{R_2}=\frac{d(\sin\varphi)}{d\bar{x}}=\frac{\theta}{2}\quad\text{at}\quad\varphi=0$$

were also used. A family of curves $\bar{z}_1=f_1(\bar{x},\theta)$ thus obtained, is shown in Fig. 1. Condition for the equation (10) is, in reality, $\bar{x}=\infty$, $\bar{z}=0$ at $\varphi=0$, and one cannot apply this to the calculation. B. B. FREUD and H. Z. FREUD (1930) calculated the equation (10) under the conditions of $\bar{z}=\varphi=0.00001$ at $\bar{x}=\bar{x}_0$ equal to from 7.5 to 12, and obtained a family of disk curves. As they do not lie, however, on the desired region of the graph for the present purpose, curves for $\bar{x}_0$ equal to from 4 to 8.1 were further calculated, and are shown in Fig. 1 as $\bar{z}=f_2(\bar{x},\bar{x}_0)$, together with the several of the curves of B. B. FREUD and H. Z. FREUD.

The shape of a bubble could be obtained if one introduces a condition that these three curves agree one another, to the first derivative $d\bar{z}/d\bar{x}$ or $\bar{z}'$, at the end of the thin film. The condition is written as follows:

$$\bar{z}=f_1(\bar{x},\theta)-\bar{h}$$
$$\bar{z}=f_2(\bar{x},\bar{x}_0)$$
$$\bar{z}=(\bar{R}_0^2+\bar{x}^2)^{\frac{1}{2}}-\bar{l}=f_3(\bar{x},\bar{R}_0)-\bar{l}$$

and

$$f_1'=f_2'=f_3'\qquad(12).$$

Together with the equation (9), one has seven unknowns and six equations, and one can obtain bubble shapes with the parameter θ. In the actual calculation, semi-graphical method was employed and relations $\bar{h}=\bar{z}_{1c}-\bar{z}_c$, $\bar{R}_0=4/(\theta+2\bar{h})$ and $\sin\varphi_c=\bar{x}_c/\bar{R}_0$ were

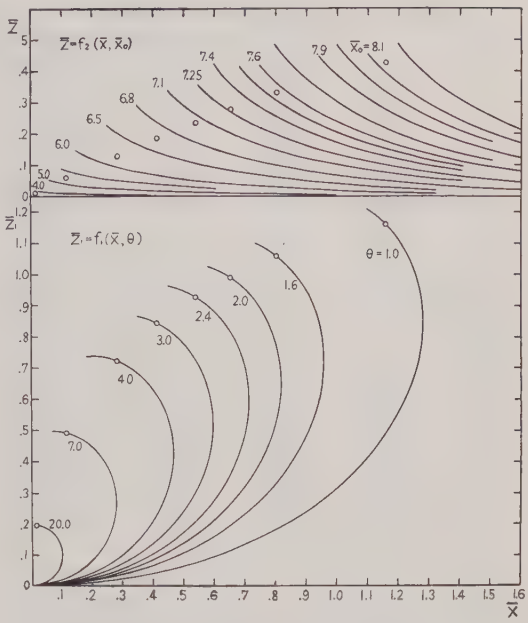


Fig. 1. Curves of $\bar{z}_1=f_1(\bar{x},\theta)$ (lower), and curves of $\bar{z}=f_2(\bar{x},\bar{x}_0)$ (upper). Points $(\bar{x}_c,\ \bar{z}_{1c})$ and $(\bar{x}_c,\ \bar{z}_c)$ are also entered.

used in the course, where the sufix c is used for the points required. The obtained points are entered in Fig. 1.

For the calculation of the volume of a bubble, it is divided into two parts, V_1 and V_2, for the submerged part and for the cap part respectively. Then comes $V=V_1+V_2$, $V_1=a^3\bar{V}_1$ and $V_2=a^3\bar{V}_2$. Let $2r$ indicate the equivalent diameter of a bubble, then comes $r=a\bar{r}$ and $\bar{V}=4\pi\bar{r}^3/3$. $\bar{V}_1$ can be calculated in a way similar to that of Th. LOHNSTEIN (1906) for the calculation of the volume of a hanging drop, as follows. The equation,

$$\bar{V}_1=\pi\int_0^{\bar{z}_{1c}}\bar{x}^2d\bar{z}_1$$

is written, by partial integration and by the equation (7), as

$$\bar{V}_1=\pi\bar{x}_c\left\{\bar{x}_c\left(\bar{z}_{1c}+\frac{\theta}{2}\right)-\sin\varphi_c\right\},$$

then it follows,

$$\bar{V}_1=\pi\bar{x}_c^2\left(\bar{z}_{1c}+\frac{\theta}{2}-\frac{1}{R_0}\right).$$

$\bar{V}_2$ is calculated by

$$\bar{V}_2=\pi\bar{z}_0^2\left(\bar{R}_0-\frac{z_0}{3}\right),\quad \bar{z}_0=\bar{R}_0-\bar{z}_c-\bar{l}.$$

The obtained data are entered in Table 1.

Table 1. Properties of the shape of a floating single bubble in a non-dimensional form.

θ	$\bar{x}_c$	$\bar{z}_{1c}$	$\bar{z}_c$	$\sin\varphi_c$	$\bar{h}$	$\bar{R}_0$	$\bar{x}_m$	$\bar{Z}_{1m}$	$\bar{V}_1$
20	0.016	0.194	0.010	0.082	0.184	0.196	0.100	0.100	0.0041
7	.117	.493	.060	.233	.433	.502	.279	.272	.0860
4	.284	.722	.130	.368	.592	.772	.467	.428	.361
3	.415	.842	.185	.448	.657	.927	.596	.523	.683
2.4	.541	.926	.236	.511	.690	1.058	.714	.599	1.09
2	.655	.989	.278	.560	.711	1.169	.818	.660	1.53
1.6	.805	1.058	.331	.614	.727	1.310	.957	.728	2.23
1	1.159	1.161	.427	.717	.734	1.621	1.279	.850	4.40

θ	$\bar{V}_2$	$\bar{V}$	$\bar{r}$	$\bar{z}_0$	$\bar{S}$	$\bar{x}_{\bar{h}}$	$\sin\varphi_{\bar{h}}$	$\bar{S}_1$	$\bar{S}_2$
20	0.0000	0.0041	0.099	0.0006	0.0007	0.049			
7	.0003	.0863	.274	.0141	.0445	.216	0.735	0.911	0.792
4	.0069	.368	.445	.0540	.262	.427	.885	2.26	1.81
3	.0271	.710	.553	.0983	.572	.573	.943	3.40	2.60
2.4	.0695	1.16	.651	.148	.983	.704	.979	4.53	3.35
2	.140	1.67	.736	.201	1.48	.815	.993	5.59	4.00
1.6	.292	2.52	.844	.276	2.27	.957	1.00	6.96	4.87
1	1.10	5.51	1.10	.491	5.00	1.267	0.978	10.7	7.17

The author did not perform the calculation where θ is smaller than unity, i.e., where the bubble size is larger, because it is beside of the purpose of the present work. However, inferring from the figure of meniscus and disk curve by B. B. Freud and H. Z. Freud (1930), $\bar{x}_c$ seems to tend to infinity, $\bar{h}$ to zero, $\sin\varphi_c$ to unity, $\bar{z}_{1c}$ and $\bar{z}_c$ to about unity from the both sides, when θ tends to zero: in the limiting case, the edge of the three portions of a bubble, probably, lies at about $\bar{z}_1=1$, the submerged portion coinciding with the still liquid surface except near the edge, and the film has the shape of a hemisphere. In actual liquids, however, larger bubbles than a cirtain size, that differs in each case, could not be made because of instability of the liquid film (cf. e.g. J. Sameshima, *et al*, 1942).

3. Application to a bubble floating at an air-sea water interface, and a comparison with observations

Capillary constant a^2, that relates the results of the last section to actual liquids, was calculated for sea water of a salinity of 19.2 per mille which was used in a previous experiment by S. Hayami and Y. Toba (1958), and a was found to be 0.3848 at 4°C and 0.3761 at 30°C, where the value of the acceleration of gravity at Kyoto was used.

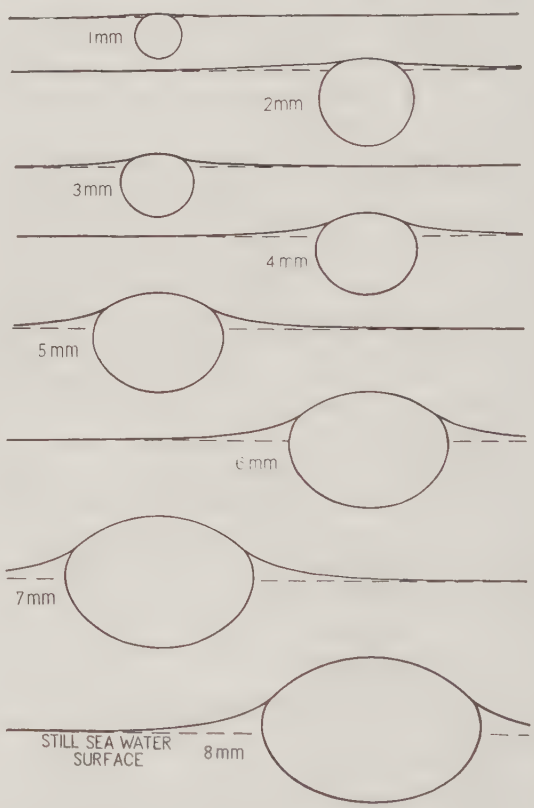


Fig. 2. Profiles of floating single bubbles at an air-sea water interface at 4°C (the case of a= 0.3848). Bubble size is indicated by equivalent diameter, $2r$, in mm. Bubbles of 1 and 2 mm are drawn in a twofold scale.

Fig. 2 illustrates shapes of single bubbles that are floating at an air-sea water interface at 4°C. They are drawn by interpolation from the results of section 2.

In the above mentioned experiment, the equivalent diameter of a single bubble was determined by use of a microburette shown in Fig. 1 of that paper, while each diameter of flocking bubbles was read on a photographic film taken from the vertical, and converted to equivalent diameter by use of a calibration diagram, that was prepared in the following way. A glass jet was joined with an injector (it is because the apparatus shown in Fig. 1 in that paper had not been devised), and the horizontal diameter of bubbles, of which the volume had been measured by the injector, was read on a photographic film. The observed values, and the straight line that was drawn to fit them and used for calibration, are shown by black marks and broken line in Fig. 3.

Now, a theoretical curve showing the relation can be added by the heavy curve in Fig. 3 by use of the data in the previous section. White marks that were obtained from bubbles made by the apparatus with a microburette, are also added. The figure seems to show the validity of the theory and the previous experiment.

4. Discussion

(i) *Bubble shape and the critical diamcter in drop production through jet disintegration*

The shape of a bubble is, in small sizes, nearly spherical and exists almost entirely below the still interface, but in larger sizes, it becomes flat to deviate from spherical shape and protrudes on the interface with large film. As an indicator showing a deviation from sphere, take the reciprocal of the ratio between the maximum horizontal radius of a bubble, x_m, to the depth of bottom of the bubble below the level where the horizontal radius of the bubble takes maximum, z_{1m}, then the value decreases from unity with an increasing bubble size as shown in the curve A in Fig. 4. The ratio between the width of the mouth of submerged portion of a bubble, $2x_c$, to the depth of the bottom below the mouth level, z_{1c}, is shown by a curve B, which increases nearly linearly with an increasing equivalent

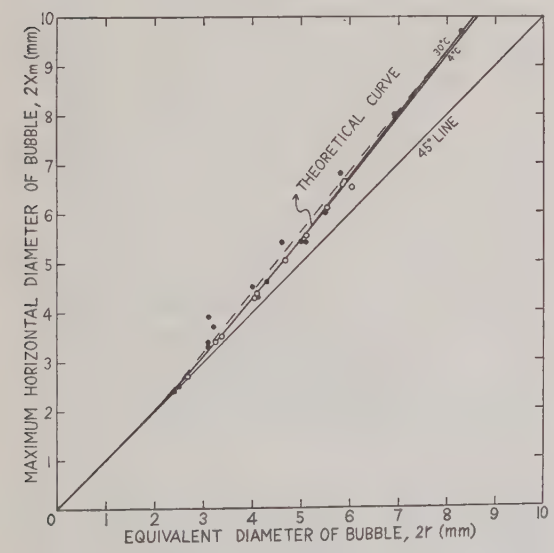


Fig. 3. Relation between the maximum horizontal diameter, 2 Xm, of a bubble floating at an air-sea water interface and the equivalent diameter of it (See text for detail).

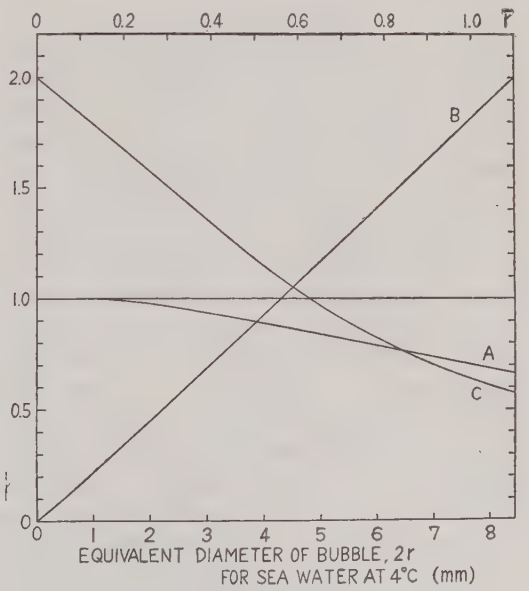


Fig. 4. Quantities characterizing the shape of a floating single bubble.
A: z_{1m}/x_m; B: $2x_c/z_{1c}$; C: h/x_m

diameter. Further, to indicate the shape of a bubble below the still interface, take the ratio between the depth of the bottom of a bubble below the still interface, h, to the maximum horizontal radius, x_m, then the curve C in Fig. 4 is obtained.

As mentioned in the introduction, the critical diameter concerning the jet mechanism was found to be about 4 mm and a transitional state continued to about 6 mm. Where the value of the curve B in Fig. 4 takes unity, the corresponding equivalent diameter is 4.31 mm at 4°C and 4.21 mm at 30°C ($\bar{r}=0.560$). Where the value of the curve C takes unity, the corresponding diameter is 4.83 mm at 4°C and 4.71 mm at 30°C ($\bar{r}=0.625$). Therefore, so far as the bubble at an air-sea water interface is concerned, the limiting bubble size concerning the jet mechanism is at the diameter, where the width of the mouth of submerged portion of a bubble equals the depth of the bottom below the mouth level, and it is close to the size where the bubble form below the still interface takes approximately a hemisphere. Does any physical meaning lie in these facts? An explanation for the latter is given below:—

For the excess energy possessed by a bubble, two kinds of energy can be considered. The one is energy due to an excess of the area of bubble surfaces compared with the still interface, the other is potential energy due to a deformation of the still interface. The surface energy per unit area appears as the surface tension, that is an internal force per unit length. On bursting the bubble film, the surface tension and the hydrostatic pressure due to the potential energy start a movement of water, and finally the still interface is reached, and part of the excess energy is spent for the drop production and other parts of it dissipate in a form of waves, or by friction. The movement of the water rush may be considered to be a superposition of some movements, one of which is due to the component of surface tension normal to the bubble surface, and hydrostatic pressure, and occurs in the direction of the normal to the surface at least at the beginning of the movement. So, for the submerged portion, the centre of curvature, which is the point where normals at points of the bubble surface meet, is considered to be a point where water rush concentrates when a bubble bursts. The centre of curvature of each point of the bubble surface, however, does not meet at one point because the shape of a bubble is not spherical. The radius of curvature at the bottom of a bubble, $\frac{2}{\theta}$, the depth to the bubble bottom below the level where the horizontal radius of a bubble takes maximum, $\bar{z}_{1m}$, and the depth to the bottom below the still interface, $\bar{h}$, are entered in Fig. 5. The shaded area is considered to

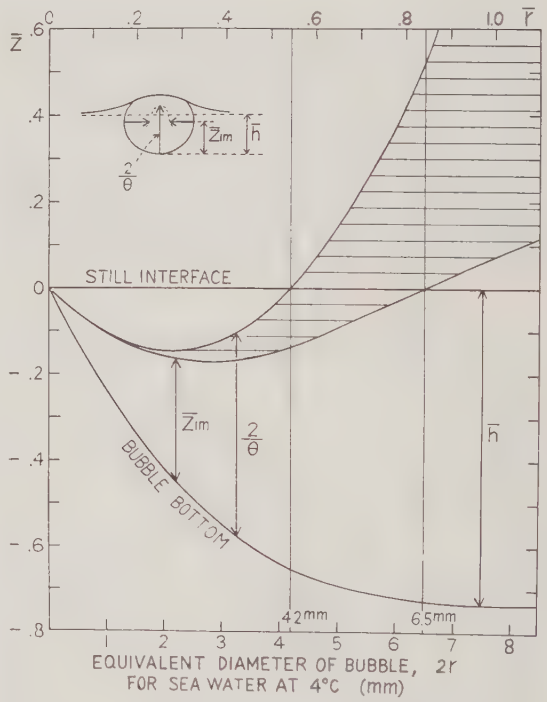


Fig. 5. Relation between the level of still interface and the level where the water rush concentrates (See text).

represent the extent of the point of rush concentration. From the figure, it is seen that, when a bubble is small, the rush concentration occurs within a small extent and considerably below the still interface (type 1), while, when a bubble is large, the posi-

tion of the rush concentration comes above the still interface, and the extent of the point becomes large (type 2). That the shape of the portion of a bubble below the still interface is hemisphere, means that the water concentration occurs at the level of still interface (transitional state between the above two types), and bubble diameter of this state lies between 4.2 mm to 6.5 mm for sea water at 4°C ($\bar{r}=0.546$ to 0.843) from the figure. When water rush concentrates, it retains sufficient energy to eject drops in type 1, while, in type 2, the energy does not meet but cross on the way, rather because the state of lowest potential, or the state of still interface, is reached before water rush concentrates at higher points.

Thus the existence of the critical diameter can be attributed to the bubble shape in its floating state. It must be added, that it is because the critical diameter was found also in bubbles which floated for a long while that the phenomena may not be attributed to the condition of a bubble in rising stage through a liquid.

In the previous paper (S. Hayami and Y. Toba, 1958), the fact was discussed qualitatively that the critical diameter decreased with increasing temperature. Now, a quantitative consideration on the matter is possible, because the value of a decreases with increasing temperature, and it is shown that the decrease of the diameter from 4°C to 30°C is 2.3 per cent, while the previous experiment showed the decrease to be ten and odd per cent. However, the phenomena concerning the bubble bursting and drop production are dynamic, so that the viscosity of a fluid must take part in them, while the present consideration started from an equilibrium form of a floating bubble where viscosity is not concerned. The previously mentioned discrepancy would have risen from this fact.

(ii) *Energy efficiency in drop production through jet disintegration*

Next comes the problem of the efficiency of energy in the case when the drop ejection occurs regularly. Fig. 6 in the previous paper shows a comparison of the potential energy of a drop ejected from a bubble, with the surface energy of submerged portion of the bubble, where the former was computed for the drop that reached the maximum height, and the latter was carried out from an approximate calculation of bubble shape where the first term on the right hand side of the equation (1) and the portion III of bubble surface, were not considered. Now the excess surface energy and the potential energy were estimated approximately by use of a graph, for the three portions of a bubble, and the total excess energy and the potential energy are shown by curves *A* and *B*, respectively, in Fig. 6. The total potential energy of all drops ejected from a bubble of each size was calculated from the previous experimental data, taking the efficiency of drop ejection into consideration for large bubbles, and is illustrated also in Fig. 6. If the film of a bubble is disintegrated into fine droplets upon bursting, the energy on the film must be left out of account, and the remaining part of the excess energy is entered by the curves *C* in Fig. 6. One will find from the curves

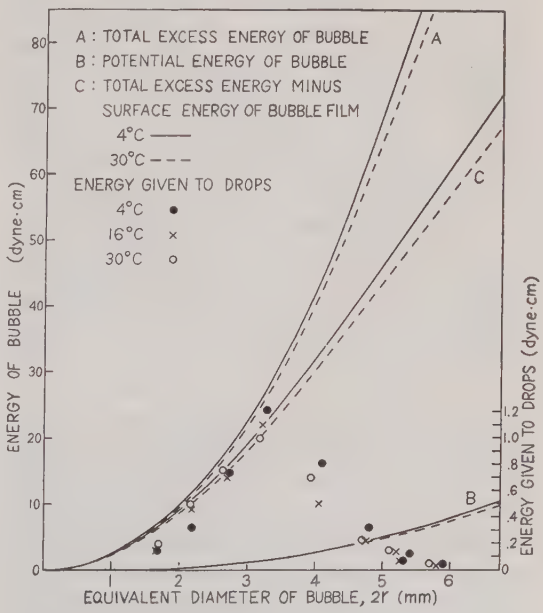


Fig. 6. Relations of energy between a bubble and ejected drops.

C and the points in Fig. 6 that the energy efficiency is about 5 per cent for drop production by water rush of this order of magnitude, and the energy loss is to be 95 per cent.

(iii) *Area of the bubble cap*

Fig. 7 illustrates the area of bubble film, and the height of film zenith above the still interface. The film area increases rapidly as the equivalent diameter of a bubble exceeds 4 mm, and the height of the film zenith also increases, while the film area of a bubble smaller than 2 mm is negligible, so that it is suggested that the limiting diameter for the drop production through jet mechanism represents also an actual starting point for the drop production through film shuttering.

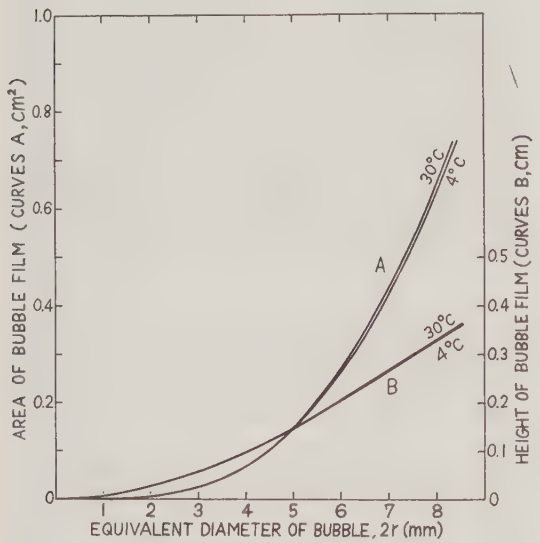


Fig. 7. Area of the cap (one side) of a floating single bubble at an air-sea water interface, S, (curves A), and height of the summit of it above the still air-sea water interface, z_0+z_e, (curves B).

T. Abe (1957) reported that, from a study on the foam layer of sea water in a bottle, the mean thickness of the membrane surrounding a bubble is of the order of 10^{-3} cm. If the film of a floating bubble has a thickness of this magnitude immediately before it bursts, and the entire part of the film shutters into fine droplets and is released into the atmosphere (it is possibly expected that the large film is released into the air in strong air flow, because of the air pressure lowering above a protuberance at the surface), the net mass of sea water droplets produced by the film shuttering would have the values of 7×10^{-5} gm for a bubble of 4 mm, and about 10^{-3} gm for one of 9 mm in equivalent diameter. These values correspond to the orders of 10^4 or 10^5 of droplets that have salt nuclei of 10^{-10} gm.

5. On the possibility to determine the surface tension of liquid from an observation of a single bubble

In a foregoing section, shapes of single bubbles were calculated in a universal relation applicable to any liquid, where the scale of length was transformed to that of a non-dimensional quantity by means of the capillary constant a^2, that includes the surface tension and the density of a liquid. Therefore, if the shape and the size of a single bubble floating on a liquid is measured, the capillary constant or the surface tension will be obtained for the liquid, when its density is known previously. For a liquid that maintains a stable bubble, one will be able to observe a single bubble on it, for example, photographically. Methods of determination of surface tension are generally to measure phenomena that are raised by contact of some solids with a liquid surface. The bubble is, however, a proper phenomenon at a gas-liquid interface, and the measurement of a bubble does not contain any contact of a solid with a liquid surface, so that the method by means of a bubble is a pure one.

In reality, Fig. 3 includes observed data of maximum horizontal diameter of bubbles. Theoretical curves in the figure are drawn by assuming the surface tension from a formula for sea water. Conversely, from a curve which is fit for observed points, surface tension can be determined by use of the data in Table 1. The precision of this method using the horizontal diameter of a bubble, is poor because the *horizontal* diameter does not change sensibly with surface tension.

Some formularized relations that lie between the capillary constant and characteristic values representing the shape and the size of a bubble, may be obtained from the results in section 2, but the author wishes to close this report by only presenting the following formula, that can be derived directly from the fundamental equations (1) and (4) in section 2,

$$\frac{2}{a^2}=\frac{4/R_0-2/b}{h} \qquad (13),$$

where h and R_0 indicate the depth to the bottom of a single bubble below the still liquid surface and curvature of the bubble cap, respectively as before, and b the radius of curvature at the bottom.

Acknowledgements

The author expresses his hearty gratitude to Prof. Dr. Shōitirō Hayami for his cordial guidance and encouragement throughout the course of this investigation. He is also indebted to other members of the Oceanographical Laboratory of Geophysical Institute, Kyoto University, for their helpful discussions on the problem.

Appendix

List of Symbols

γ: surface tension of the liquid
ρ: density of the liquid
ρ': density of the gas
g: the acceleration of gravity
R_0: radius of the sphere of bubble cap
R_1, R_2: principal radii of curvature at a point of the bubble surface
p: gas pressure inside a bubble
p_0: gas pressure outside a bubble
φ: angle that the tangent of a meridian curve of the bubble surface makes with the horizontal
x: distance from the axis of revolution of bubble surface
z: height above the still gas-liquid interface
h: depth to the bubble bottom below the still interface
l: depth to the centre of the sphere of bubble cap below the still interface
$z_1=z+h$
$z_2=z+l$
s: arc distance along a meridian curve of the bubble surface
a^2: capillary constant defined by $\frac{2}{a^2}=\frac{(\rho-\rho')g}{\gamma}$
$\bar{x}=x/a$, $\bar{z}=z/a$, etc.
$\theta=\frac{4}{R_0}-2h$
$\bar{x}_0$: $\bar{x}$ of the initial point of the numerical integration of equation (10)
V: volume of gas inside a bubble
V_1: part of V below the level where three portions of bubble surface meet
V_2: part of V above the level where three portions of bubble surface meet
r: equivalent radius of a bubble, or radius of the sphere of a volume V
z_0: height of the zenith of bubble cap above the level where three portions of bubble surface meet
b: radius of curvature of the surface at the bottom of a bubble
S: area of bubble film (one side)
S_1: area of the submerged portion of the inner gas-liquid interface of a bubble
S_2: part of S_1 below the still interface
Sufix c represents the point where three portions of bubble surface meet.
Sufix m represents the point where the horizontal diameter of a bubble takes maximum.
Sufix $\bar{h}$ indicates the point at the level of still interface.

References

Abe, T., 1957:
"A supplementary note on the foaming of sea water." Records of Oceanogr. Works in Japan, **4**, 1-6.

Blanchard, D. C., 1954:
"Bursting of bubbles at an air-water interface." Nature, **173**, 1048.

Blanchard, D. C. and A. H. Woodcock, 1957:
"Bubble formation and modification in the sea and its meteorological significane." Tellus, **9**, 145-158.

FACY, L., 1951:
"Éclatement des lames minces et noyaux de condensation." Jour. Sci. Météor. III-11, 86-98.

FREUD, B. B., and W. D. HARKINS, 1929:
"The shapes of drops, and the determination of surface tension." Jour. Phys. Chem., **33**, 1217-1234.

FREUD, B. B. and H. Z. FREUD, 1930:
"A theory of the ring method for the determination of surface tension." Jour. Amer. Chem. Soc., **52**, 1772-1782.

HAYAMI, S. and Y. TOBA, 1958:
"Drop production by bursting of air bubbles on the sea surface (I). Experiments at still sea water surface." Jour. Oceanogr. Soc. Japan, **14**, 145-150.

KIENTZLER, C. F., A. B. ARONS, D. C. BLANCHARD, and A. H. WOODCOCK, 1954:
"Photographic investigation of the projection of droplets by bubbles bursting at a water surface." Tellus, **6**, 1-7.

KNELMAN, F., N. DOMBROWSKI, and D. M. NEWITT, 1954:
"Mechanism of the bursting of bubbles." Nature, **173**, 261.

KOYAMA, T., and K. SUGAWARA, 1953:
"Separation of the components of atmospheric salt and their distribution (continued)." Bull. Chem. Soc. Japan, **26**, 123-126.

LOHNSTEIN, Th., 1906:
"Zur Theorie des Abtropfens mit besonderer Rücksicht auf die Bestimung der Kapillaritätskonstanten durch Tropfversuche." Ann. d. Physik [4] **20**, 237-268.

MASON, B. J., 1955:
"Bursting of air bubbles at the surface of sea water." Nature, **174**, 470-471.

——, 1957:
"The physics of clouds." Oxford at the Clarendon Press. 481 pp.

MOORE, D. J., and B. J. MASON, 1954:
"The concentration, size distribution and production rate of large salt nuclei over the oceans." Quart. Jour. Roy. Meteor. Soc., **80**, 583-590.

NEWITT, D. M., 1954:
"Bursting of bubbles at an air-water interface." Nature, **173**, 1048-1049.

RUNGE, C., 1895:
"Ueber die numerische Auflösung von Differentialgleichungen." Math. Ann. **46**, 167-178.

SAMESHIMA, J., M. NAKAMUTA, and R. TERADA, 1942:
"The Stability of the liquid film." Jour. Chem. Soc. Japan, **63**, 691-696. (In Japanese.)

SUGAWARA, K., S. OANA, and T. KOYAMA, 1949:
"Separation of the components of atmospheric salt and their distribution." Bull. Chem. Soc. Japan, **22**, 47-52.

SUGAWARA, K., and N. KAWASAKI, 1958:
"Strontium and calcium distribution in Western Pacific, Indian and Antarctic Oceans." Records of Oceanogr. Works in Japan, Special Number 2, 227-242.

TWOMEY, S., and K. N. MCMASTER, 1955:
"The production of condensation nuclei by crystallizing salt particles." Tellus, **7**, 458-461.

WOODCOCK, A. H., C. F. KIENTZLER, A. B. ARONS, and D. C. BLANCHARD, 1953:
"Giant condensation nuclei from bursting bubbles." Nature, **172**, 1145.

The Journal of the Oceanographical Society of Japan
Vol. 15, No. 3 October 1959

北太平洋の海洋化学的研究 (VI)
赤道太平洋における燐の分布*

北　村　弘　行**

Chemical Oceanography in the North Pacific (VI)
Phosphate in the Equatorial Pacific Ocean

Hiroyuki KITAMURA

Abstract: The distribution of phosphate phosphorus in the Equatorial Pacific Ocean is described for the upper five hundred meters along the meridional section.

The distribution of the phosphate in the vicinity of the equator indicates the current system and shallow upwelling in the divergence area.

Utilizing the combination of phosphate phosphorus and chlorinity values to form a phosphate-chlorinity relationship, the author finds that the relationship is useful to analyse three current systems (North Equatorial Current, Equatorial Countercurrent and South Equatorial Current) in the Equatorial Pacific Ocean. And it seems that phosphate content has been increased during these thirty years when compared with Carnegie survey in 1929.

1. 緒　論

太平洋赤道海域は，北赤道海流，赤道反流，南赤道海流の三者が夫々西，東流しており，これらの構造の解明に中部太平洋赤道海域では近年精力的な調査がハワイにある Pacific Oceanic Fishery Investigations[1] (POFI) によつてなされている．東部太平洋赤道海域は Scripps Institution of Oceanography, U.S. Navy Electronic Laboratory, POFI, Peruvian Navy などによつて1952年の春～夏，1955年の夏～冬に130° W 以東において協同観測[2),3)]がなされている．西部太平洋赤道海域をみると組織的な調査はあまりなく，その上 phosphate-P を測定しているのは若干あるにすぎない．近年水産関係の調査船による断片的な観測[4)]，海上保安庁[5)]による EQUAPAC 及び IGY の観測等が行なわれている状態である．又これらの観測では赤道をまたがつての詳細な鉛直構造はよく調査されていない．筆者はさきにほぼ135°E 沿いの赤道以北20°N までの phosphate-P の鉛直分布について，その概略を紹介[6)]した．この小論では太平洋の赤道海域全般における phosphate-P と海流の関連性について若干述べる．

2. Phosphate-P の資料について

用いた資料は第１図に示してある観測から得られたもので，各観測線はほぼ北赤道海流，赤道反流，南赤道海流の三者にまたがつており，且 phosphate-P の測定がおこなわれている．phosphate-P の定量法は観測船によつて異なつたり，

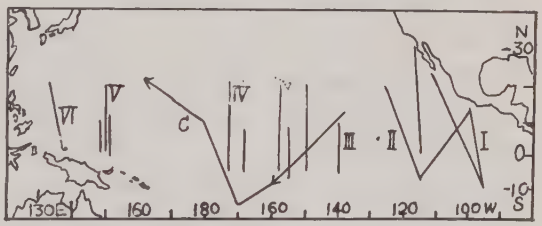


Fig. 1. Map shows locations of sectional lines of the oceanographycal observations. (C..... CARNEGIE.) Roman numerals: I, Sec. I SHELLBACK; II, Sec. II SHELLBACK; III, Sec. III H. M. SMITH; IV, Sec. IV H. M. SMITH; V, Sec. V TENYO-MARU; VI, Sec. VI SHUNYO-MARU.

* 1959年９月11日受理.

** 神戸海洋気象台　Kobe Marine Observatory.

採水から分析までの時間に変動があるため厳密な比較は出来ないが，赤道海域に分布する phosphate-P の大勢はつかむ事が出来る．尚往年の観測と比較するため "Carnegie" 号の資料[7]も参照した．

3. Phosphate-P の鉛直分布

第2図（東部及び中部太平洋赤道海域）及び第3図（西部太平洋赤道海域）に示した鉛直断面は夫々位置は第1図によつて知られる．各観測断面は観測の季節が異なつているために，浅層は幾分季節変動の影響が含まれているが，海流別の鉛直構造はよくあらわれている．

a. 東部太平洋赤道海域（第2図a. b）

南赤道海流は赤道附近で等量線が南に向つて上昇していることによつてみられる．これは Sec. I より Sec. II の方が posphate-P の分布から明瞭にみられる，赤道反流は等量線が各断面共に北に向つて上昇する状態によつて判明するが，Sec. II の 300 m 以深は Sec. I にくらべて明瞭でない．北赤道海流はこの赤道反流の北側で等量線が北に向つて下降している状態を示していることによつてわかる．Sec. II においては 15～19° N の間に存在する．

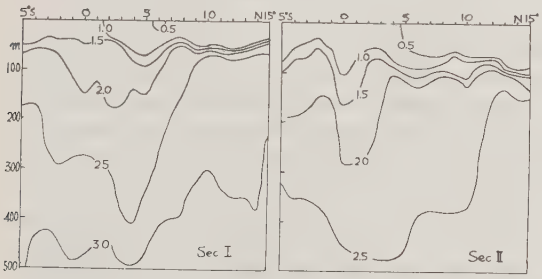


Fig. 2. a　　Fig. 2. b

Fig. 2. Distribution of phosphate-phosphorus (μg-atoms/L) in a vertical north-south section in the Equatorial Eastern and Mid-Pacific Ocean. a) Section I, along 100° W. b) Section II, along 120° W. c) Section III, along 140° W. d) Section IV, along 172° W.

b. 中部太平洋赤道海域（第2図 c. d）

この海域で顕著な現象は，Sec. III にみられる赤道反流の北縁で "phosphocline" と呼ばれる躍層[8]がある事で，10～20 m の深度で 0.8～2.4 μg. at. P/L の増加をみせている．170° W 附近の分布は Sec. IV に示してあるが，赤道反流の範囲は phosphate-P の分布から 2～8° N の間で，Dynamic height，水温等[9]の分布と一致している．

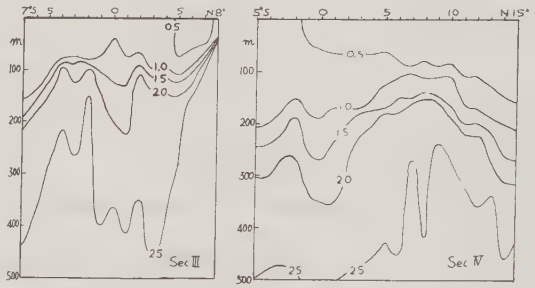


Fig. 2. c　　Fig. 2. d

c. 西部太平洋赤道海流（第3図 a. b）

150° E, 135° E における二つの断面 (Sec.V, VI) からは赤道反流と南赤道海流の境界は 3° N 附近，赤道反流と北赤道海流の境界は 7° N 附近になつている．この分布から鉛直方向の海水の流動はほぼ 500 m 程度まで達していると考えられる．

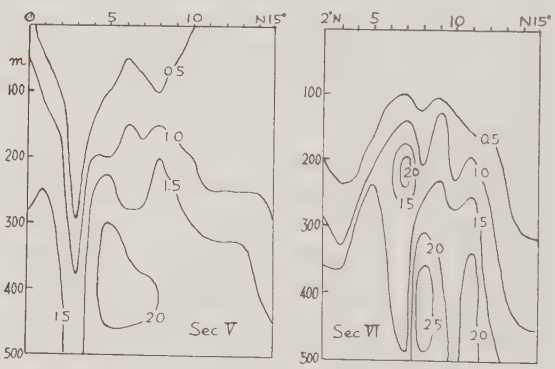


Fig. 3. a　　Fig. 3. b

Fig. 3. Distribution of phosphate-phosporus (μg-atoms/L) in a vertical north-south section in the Equatorial Western Pacific Ocean. a) Section V, along 150° E. b) Section VI, along about 135° E.

太平洋赤道海域の鉛直断面によつて phosphate-P の緯度変化状態を述べたが，ここに存在する三つの海流は phosphate-P の分布から明瞭に区別することが出来，北赤道海流と赤道反流の境界部で upwelling が，赤道反流と南赤道海流の境界部で sinking が示される．東部太平洋赤道海域は南赤道海流に接して Peru Current が存在するので，phosphate-P が多くなつており，中央アメリカ西方でも zooplankton 量が多く，生産力の大きい事を示して，phosphate-P は多い．深

層の分布をみると，3.25 μg. at. P/L 以上含有しているのは Sec. I における 6° N 以北，Peru Current 内で水温が 4～5° C を示す深度に中心を持つた水塊である．然しこれは赤道海流となつて外洋遠く流れると 1000 m 以浅で 3.0 μg. at. P/L を越すところはあまりあらわれない．

4. Phosphate-P と chlorinity との関係

水塊の性質を解明するために水温，塩素量，溶在酸素等の要素を種々組合せて，関係を調べることは古くから行なわれている[10]．SEIWELL[11] は O_2-S 曲線から水塊の水平流動を研究した．これらは定めた組合せの保持性をもとにして水塊の解析を行なつている．組合せの要素に非保存性 (non-conservative) のものを使うことによつて水塊の小さな変動の解析に有効であると考えられる．ここでは phosphate-P と chlorinity の組合せによつて赤道太平洋海域の水塊を調べてみる．赤道太平洋では 100 m 以浅は降水，phytoplankton の増減等が影響して局地的な変動をおこすことと，1000 m 以深は chlorinity の変化が少ないため大体 100～1000 m 以内についての関係を求めた．

a. 東部太平洋赤道海域 (第 4 図)

東部太平洋赤道海域における P-Cl 曲線を海流別に記すと第 4 図の如くなる．St. Baird 9 (第 4 図 A) は北赤道海流，St. Baird 15 (第 4 図 B) は赤道反流，St. Baird 21 (第 4 図 C) は南赤道海流を示している．又 St. Horizon 51 (第 4 図 D) は中央アメリカ西方海域を代表させてある．

St. Baird 9 における P-Cl 関係は phosphate-P が 2.0 μg. at./L までは chlorinity は 19.0～19.1‰, 2.0–2.5 μg. at. P/L で 19.1–19.2 Cl‰ に変化し，それ以後は phosphate-P が 3.5 μg. at./L に増加して，chlorinity は 19.1‰ に減少していく．St. Baird 15 になると chlorinity が高くなるために phosphate-P が 2.0 μg. at./L 程度増加するまでは北赤道海流より約 1.5‰ 程高い関係を示しているが，深度を増して 2.5 μg. at. P/L 以上になると北赤道海流と同じ関係を持つ様になる．St. Baird 21 は赤道反流より chlorinity が高い結果 2.5 μg. at. P/L より低いところは図

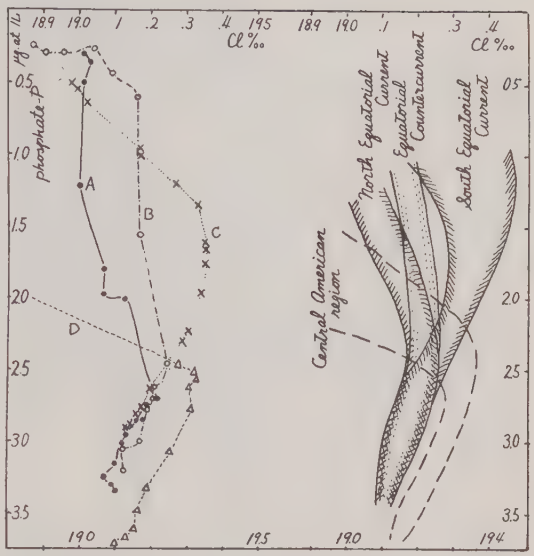


Fig. 4. Phosphate-chlorinity relations in the Equatorial Eastern Pacific Ocean. Abbreviations: A. 15°–03′ N, 116°–14′ W; B. 9°–06′ N, 115°–44′ W; C. 3°–05′ N, 115°–44′ W; D. 6°–56′ N, 79°–54′ W.

の様に曲線がづれるが 2.5 μg. at. P/L 以上になると前二者と同じところへ走向が達する．St. Horizon 51 は陸地より約 50 浬沖合にあるが，この観測点は phosphate-P が 2.5 μg. at./L 以上は前三者より chlorinity が約 1‰ 高い結果図の様にほぼ平行状態となり，上層は chlorinity が低い結果前者とは全然異なつた曲線を示している．これらを綜合すると第 4 図に示す如く，ある幅を持つた P-Cl の関係が得られる．

b. 中部太平洋赤道海域 (第 5 図)

中部太平洋赤道海域は 1 例として 172° W 沿いの若干の観測点について述べる．St. Smith 7 (第 5 図 A) と St. Smith 12 (第 5 図 B) は北赤道海流であるが St. Smith 7 は北太平洋中層水の影響がみられ phosphate-P で 1.5–2.5 μg. at./L のところで chlorinity が 19.0‰ より低くなつている．St. Smith 12 とは一度 3.2 μg. at. P/L の極大値を示してから合一している．St. Smith 12 の変化は 2.5 μg. at. P/L に増加するまでは 19.30 Cl‰ から 19.15 Cl‰ へと低下しており，2.5–3.3 μg. at. P/L になると 19.15 19.10 Cl‰ の範囲になつている．赤道反流，南赤道海流共に phosphate

-P が 2.5 μg. at. P/L 以上含有する水は同一系統の水塊を示している．これを綜合すると第5図に示した様になる．

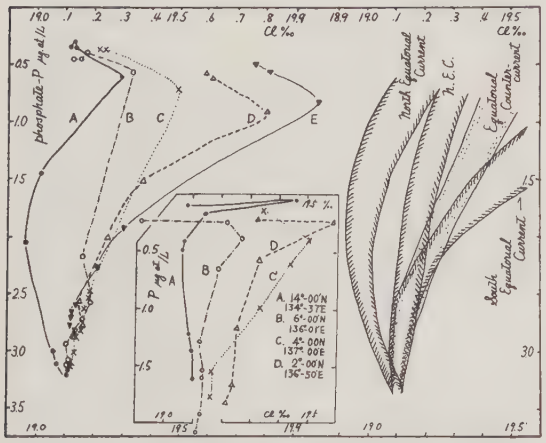


Fig. 5. Phosphate-chlorinity relations in the Equatorial Mid-Pacific Ocean. Abbreviations: A. 15°-00′ N, 171°-54′ W; B. 9°-54′ N, 172°-02′ W; C. 5°-00′ N, 172°-02′ W; D. 1°-00′ S, 171°-57′ W; E. 4°-05′ S, 171°-56′ W. Inset relations shows of the Equatorial Western Pacific Ocean.

c. 西部太平洋赤道海域 (第5図)

西部太平洋赤道海域は phosphate-P の資料が殆どないためここでは 600 m 以浅ではあるが 135° E 沿いの資料[6]によつて傾向を調べた．この海域は赤道反流，南赤道海流の chlorinity は中部太平洋赤道海域よりも低い値を示すため P-Cl の曲線は中部太平洋赤道海域の北赤道海流系の曲線帯に含有される傾向をかしている．その他の詳細な事は断定出来ない．

5. Carnegie 号観測との比較

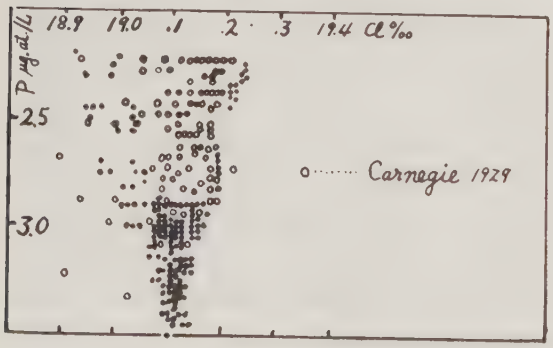


Fig. 6. Phosphate-chlorinity relations of the CARNEGIE and POFI researches in the Equatorial Mid-Pacific Ocean.

"Carnegie" 号は第1図に示す航路によつて赤道太平洋の調査を行なつたが．phosphate-P と chlorinity との関係は第6図に示してある．この観測結果と POFI が 180°-140° W で実施した観測結果とを比較すると，1) Carnegie は赤道太平洋で3.0 μg. at. P/L 以上の測定は2測点だけ得ている，2) POFI に依つて得られた広い範囲に存在する 3.0 μg. at. P/L 以上の含有量は約 30 年間の時間的経過によつて上層からの沈降によるものであろうか，等について検討を要するものと思われる．

6. 要約

北赤道海流，赤道反流，南赤道海流の三者が，含有する phosphate-P の鉛直断面における分布構造を説明した．三海流の運動にともなつて，phosphate-P は水温，chlorinity と共によく海流の区別をあらわしており，水平流動と共に鉛直流動の影響によつて長距離の輸送にもかかわらず各海流別に保持する phosphate-P の値はあまり変らない．

Phosphate-P と chlorinity との関係を求めた結果は 100-1000 m にあつては phosphate-P が 2.5 μg. at. P/L 以上の含有量を持つ水は各海流ともに同一系統を示し，それ以下は各海流を特徴づける曲線帯内に含有される．

"Carnegie" 号の観測と比較すると，近年の観測値は広範囲に 1.0 μg. at. P/L 程度含有量が増加しているのがみられる．

文 献

1) SETTE, O. E., et al, 1954: Progress in Pacific Oceanic Fishery Investigations 1950-53. U S. Fish and Wildlife Service Spec. Sci. Report: Fish. No. 116.

2) WOOSTER, W. S. and T. CROMWELL, 1958: An oceanographic description of the eastern tropical Pacific. Bull. Scripps Inst. Oceanogr. Univ. Calif., Vol. 7, No. 3, pp. 169-282.

3) Scripps Institution of Oceanography 1952: Data collected by Scripps Institution Vessels EASTROPIC expedition September-December 1955. SIO Reference 56-28.

4) FUKAI, R., 1953: On the distribution of nutrient salts in the Equatorial North Pacific. Bull. Chem. Soc.

Japan., Vol. 26, No. 9, pp. 485-489.

5) 吉田昭二，二谷穎男，鈴木成二 1959：
赤道海域一齊海流測定について (1958年1～2月)
水路要報 No. 59, pp. 1～30.

6) 北村弘行 1959：
パラオ海域の燐酸塩 科学 Vol. 29, No. 6, pp. 309-310.

7) Scientific results of Cruise VII of the Carnegie during 1928-1929 under command of Captain J. P. Ault, Oceanography I-B.

8) AUSTIN, T. S., 1954：
Mid-Pacific oceanography Part V, Trans-equatorial waters, May-June 1952, August 1952. U. S. Fish and Wildlife Service Spec. Sci. Report： Fish. No. 136.

9) CROMWELL, T., 1954：
Mid-Pacific oceanography II. U. S. Fish and Wildlife Service Spec. Sci. Report： Fish. No. 131.

10) HELLAND-HANSEN, B., 1918：
Nogen hydrografiske metoder. Fordhandlinger ved de skandinaviske naturforskeres 16 de mote i kristiania 10-15 Juli, 1916. Oslo.

11) SEIWELL, H. R., 1938：
Application of the distribution of oxygen to the physical oceanography of the Caribean Sea region. Papers in phys. Oceanogr. and Meteorol., Vol. VI, No. 1. 60 pp.

The Journal of the Oceanographical Society of Japan
Vol 15, No. 3 October 1959

房総半島・金華山沖の浮遊性有孔虫群*

内　尾　高　保**

Planktonic Foraminifera off the Coast of Boso Peninsula and Kinkazan, Japan

Takayasu UCHIO

Abstract: Foraminifera assemblages have been analyzed from 17 vertical plankton tows taken along two traverses, off Boso Peninsula and Kinkazan. Locations of stations are shown in Figure 1 and are listed in Table 1 together with dates, times of collections. Type of plankton net used is the Kitahara sampler which has a mouth diameter of 24 cm. and is made of no. XX_{13} silk grit gauze with effective apertures of 0.1 mm.

Total Foraminifera population of each sample and frequency (in %) distribution of each species are listed in Table 2. Stations with asteric (*) mark indicate that calcareous tests of Foraminifera were dissolved and only light greenish protoplasms were present when examined. Sample B1 contains an extraordinally large population of diatom and also a large population of Foraminifera. Excluding sample B1 and six samples in which the calcareous tests were dissolved, Foraminifera population gradually increases from nearshore towards offshore reaching maximum at stations K3, B3 and B3′, and then decreases farther offshore. The decrease of the population towards offshore may be related to a small gyre of the Kuroshio. The maximum populations appear to be related to the main course of the Kuroshio, or to the collections during the daytime (from *ca.* 10 a.m. to *ca.* 2 p.m.). Diurnal vertical migration of planktonic Foraminifera, that is, larger population in the daytime and smaller population at night near the sea surface, is known in the Central Pacific and an interpretation is given by BRADSHAW.

No cold water species is found, which suggests that the warm Kuroshio covered this area when sampled. *Globigerina eggeri* and *Globigerinoides rubra* are dominant species, and the latter reaches its maximum frequency along the main course of the Kuroshio. The other species, except *Globigerina bulloides*, are tropical or subtropical species but occupy small percents.

Seasonal change of distribution of Foraminifera along a traverse south of Boso Peninsula is not clear because of the dissolution of the calcareous tests, yet it shows some tendencies, that is, maximum population at B3 and B3′, absence of *Globigerina eggeri* and dominance of *Globigerinoides rubra* in spite of rather marked difference in water temperatures at the times of collections.

I. 緒　言

我国では従来浮遊性動物に関する報告は多いが，有孔虫 (Foraminifera) は除外されている(中井 1957[1])．KING と DEMOND (1953)[2] によると中部太平洋では有孔虫は浮遊性動物の total mass の小部分を占めるにすぎぬが，個体数は総個体数の平均1.3～9.9%を占める．その個体数は季節的に変化する．即ち冬には Copepoda, Chaetognatha, Tunicata, Euphausiacea, Siphonophora, Foraminifera の順に，夏には Copepoda, Chaetognatha, Foraminifera の順に多い．浮遊性有孔虫の死殻はグロビゲリナ軟泥 (Globigerina ooze) を構成し，三大洋に極めて広範囲に分布する．他の浮遊性動物 (Radiolaria, Pteropoda, Ostracoda を除く) の大部分は死後

* 34年6月8日，東大・地球物理講義室で講演．
** 東京大学工学部鉱山学(採油)教室，Petroleum Engineering Institute, University of Tokyo

分解して海底堆積物中に残らない．従つて有孔虫は主に地質学者に研究されてきた．

浅野 (1957)[3] は日本近海に於ける蒼鷹丸(1922～1930) 採集の底質中の浮游性有孔虫を研究したが，plankton net で採集した資料中の有孔虫の研究は知られてない．浮游性有孔虫は一般に海の表面にのみ存在すると考えられているが，Lohmann (1920)[4], Schott (1935)[5], Phleger (1945, 1951)[6][7] の大西洋，メキシコ湾の研究によると，有孔虫は 100m. 以浅，特に 50m. 以浅の水中に最も多いが，それより深い所にもいる．その殻は死後海底へ降下するが，その間に水平的にかなり遠くまで運ばれる．従つて堆積物中に含まれる浮游性有孔虫の分布は生存した時の地理的分布と必ずしも一致しない．特に黒潮・親潮の境界が年々，また季節的に異なる日本の太平洋岸では，浮游性有孔虫の生殻と死殻の分布は異るであろう．地表に露出する堆積岩中の浮游性有孔虫群の古生態を推察するには，現世海底堆積物中の有孔虫よりも，plankton net で採集した資料中の有孔虫を研究する事が重要である．

浮游性有孔虫は他の浮游性動物に比し小型なので，その個体数の割に total mass は少い．従つて前述のように水産学上から軽視されているが，水塊の indicator として極めて重要な事は既に知られている (Phleger *et al.*, 1953, Phleger, 1954)[8][9]．海洋物理に於ては海水の温度・塩分を利用し，いわゆる T−S diagram を用いて水塊を区別している．しかし 100 或いは 200m. 以浅の表層水は季節的な，また地域的な変化が多いので，この方法を厳密に適用する事はできない．浮游性生物は海水の物理・化学的性質の変化に屢々非常に鋭敏なので，T−S diagram 法で明かでない場合に，水塊の識別に利用されている．Bieri (1957)[10], Brinton (1957)[11], Bradshaw (1957)[12], Hida (1957)[13] は夫々 Chaetognatha, Euphausiacea, Foraminifera, Pteropoda を用いて太平洋に於て大きな動物分布域を認め，surface oceanographic water mass と関係づけている．

2．研究方法

この研究に使用した資料は東海区水産研究所の蒼鷹丸を用いて採集したもので，資料研究の機会を与えられた同所の中井甚二郎氏に謝意を表する．資料の採集位置・日時は第1図および第1表に示してある．

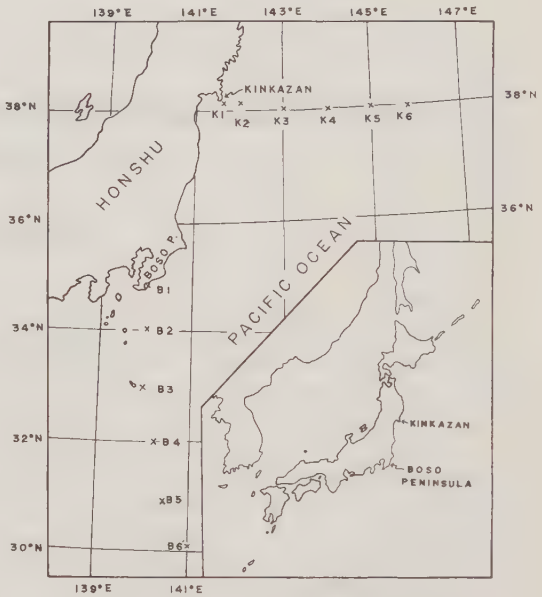


Fig. 1. Location of plankton samples

資料は北原式ネット（口孔の直径 24cm.，網目の大きさ 0.1mm.）を用いて深度 50m から水面まで垂直に引いて採集された．ネットの入口には流量計 flow meter をつけてあり，濾過した水量を知りうる．このネットの濾過効率は約 100% といわれ，従つて濾過した水量は約 2200l. である．資料は船上で採集直後に10%の中性ホルマリンで固定された．研究室では約 10cm 平方の plastic tray に資料を少量づつ移し，立体双眼顕微鏡下でホルマリンにつけたままの状態で種 species を鑑定し，各種毎に個体数を数える．幼形で鑑定困難なものはピペットで摘出し，乾燥してから鑑定する．各資料毎にその総個体数，各種の頻度(%)を第2表に示してある．

Stations B5, B1′, B2′, B4′, B5′, B6′ では有孔虫

Table 1. Locations, dates, times, depths of vertical hauls, and water temperatures at the times of collections.

Station	Location		Date	Time	Depth	Water Temperature	
	Lat. N.	Long. E.				0 m.	50 m.
K1	38 11.0′	141 33.0′	1957 Sept. 16	02.43	0←50 m.		
K2	38 11.0′	142 07.0′	1957 Sept. 15	20.54	0←50 m.	20.6 C.	17.9 C.
K3	38 08.0′	143 02.0′	1957 Sept. 15	13.55	0←50 m.		
K4	38 02.0′	144 02.0′	1957 Sept. 15	06.34	0←50 m.	21.2 C.	12.0 C.
K5	38 00.0′	145 01.0′	1957 Sept. 14	22.47	0←50 m.		
K6	37 58.8′	145 44.0′	1957 Sept. 14	17.14	0←50 m.	21.6 C.	13.3 C.
B1	34 59.8′	140 03.6′	1957 Aug. 31	23.20	0←50 m.		
B2	34 04.2′	140 00.5′	1957 Sept. 9	20.03	0←50 m.	26.8 C.	26.8 C.
B3	33 08.2′	140 03.0′	1957 Sept. 10	09.50	0←50 m.		
B4	31 58.5′	140 22.0′	1957 Sept. 10	23.43	0←50 m.	28.3 C.	24.3 C.
B5	30 48.0′	140 44.2′	1957 Sept. 11	17.43	0←50 m.	28.6 C.	21.8 C.
B1′	34 58.9′	140 03.0′	1958 Mar. 19	10.40	0←50 m.		
B2′	34 01.8′	140 06.2′	1958 Mar. 19	23.42	0←50 m.	19.1 C.	18.8 C.
B3′	33 07.5′	140 03.2′	1958 Mar. 20	10.55	0←50 m.		
B4′	31 58.0′	140 21.0′	1958 Mar. 20	22.18	0←50 m.	18.8 C.	18.9 C.
B5′	30 51.8′	140 34.0′	1958 Mar. 21	08.33	0←50 m.		
B6′	30 13.0′	141 07.0′	1958 Mar. 21	22.06	0←50 m.	18.0 C.	17.9 C.

Table 2. Frequency distribution (in %) of planktonic Foraminifera in plankton tows.

Area	East of Kinkazan						South of Boso Peninsula											
Date of Collection	1957 September						1957 Aug. & Sept.					1958 March						
Station	K1	K2	K3	K4*	K5	K6	B1	B2	B3	B4	B5*	B1′*	B2′*	B3′	B4′*	B5′*	B6′*	
Total Population/2200 L.	53	92	223	78	165	127	1300	205	351	174	9	18	46	335	22	37	7	
Globigerinita glutinata	—	—	—	—	—	—	—	29	12	40								
Globigerina bulloides	9	4	2	2	2	—	3	—	28	—	(67)	(100)	(33)	6	(96)	(92)	(72)	
G. cf. *eggeri* (small)	55	60	68	71	11	—	93	51	—	13			37	29				
G. eggeri (large)	9	22	19	15	13	91	1	—	—	—	22	—	4	—	—	3	14	
G. sp. 1	—	—	—	—	.6	—	—	5	2	8	—	—	17	26	—	—	—	
G. sp. 2	—	—	—	—	—	—	—	—	.3	—	—	—	—	6	—	—	—	
G. quinqueloba	—	—	—	—	—	—	2	—	.3	—	—	—	—	1	—	—	—	
Globigerinella (?) cf. *aequilateralis* (small)	—	—	—	—	—	—	—	3	2	—	11	—	4	—	4	—	—	
Globigerinoides cf. *minuta*	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
G. conglobata	—	—	—	—	.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
G. rubra	19	9	6	12	71	—	1	9	50	3	—	—	—	26	—	—	—	
G. cf. *triloba* (young of G. *sacculifera*?)	—	—	—	—	—	—	—	1	.6	22	—	—	—	—	—	—	—	
G. *sacculifera*	—	—	—	—	—	7	—	—	—	2	—	—	—	—	—	—	—	
Pulleniatina obliquiloculata	—	—	—	—	.6	2	—	—	2	3	—	—	2	1	—	—	—	
? *P. obliq.* (small)	8	5	4	—	2	—	—	.5	3	7	—	—	—	2	—	—	—	
Hastigerina murrayi	—	—	—	—	—	—	—	1	—	2	—	—	—	—	—	—	—	
Globorotalia menardii	—	—	—	—	—	—	—	.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
G. truncatulinoides	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	.3	—	—	—	
G. hirsuta	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	.6	—	3	14	
G. punctulata	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	—	2	—	

石灰殻は溶けており（中性ホルマリンは時間の経過と共に酸性になる為），殻内の淡黄緑色の原形質が残つていた．従つて種の鑑定は困難または不可能のものがあり，また個体数も他の資料に比し

て遙かに少い.

北原式ネットは他のネットよりも網目が細かいので，多くの幼形が含まれ，その鑑定はむづかしい.特に浮游性有孔虫の幼形はすべて *Globigerina bulloides* D' ORBIGNY に似る．従つて第2表に於て *Globigerinita glutinata* (EGGER)，*Globigerina* cf. *eggeri* RHUNBLER (young) は，石灰殻の溶けた場合には *Globigerina bulloides* D'ORBIGNY と区別し得ず，それらを一括して%を計算した.

3. 有孔虫群の分布とその解釈

（1） 総個体数

石灰殻が溶けていたstationsでは,他のstationsに比して有孔虫の個体数が遙かに少い．従つて一応考慮に入れるにとどめる，K4ではピペットで摘出した標本を cleaning するために 10% の過酸化水素水に入れて煮沸したので，多くの石灰殻が溶けた．B1では異常に大量の珪藻が採集されたので資料は淡黄緑色を呈した．その一部分（容積にして約 $^{9}/_{34}$ 中の個体数から全量中の総個体数を算定した．これらの station を除くと，総個体数は岸附近より沖に向つて増加し，K3, B3, B3′ で極大になり，更に沖に向つて減少する．この極大値を示す部分は中井 (1957)[1] の offshore fertile zone に相当し，黒潮の主流に沿つた海域である．それより更に沖の部分は中井 (1957)[1] のoffshore thin zone に相当する.

このように総個体数に差異を生じた原因は次のように考えられるかもしれない．即ち極大値を示した station ではほぼ 10 時から 14時までに採集され，他の station では夜または早朝に採集された．一般に浮游性動物は海面から深所へ昼夜の移動 diurnal migration を行い，夜間には水面近く，昼間は深所へ集る．これは昼夜に於ける光の強さによると考えられている．今回の研究では，有孔虫個体数は逆に昼間には浅所（深度 50m から海面まで）に多く，夜間には同じ深度にも拘わらず少い．RHUMBLER (1911)[4] は北大西洋で，BRADSHAW (1957)[12] は太平洋で同様な現象を認めた．その一つの解釈としてBRADSHAW (1957)[12] は，有孔虫内に共生する藻類は昼間は光合成作用により酸素を生じ，従つて有孔虫は軽くなり上昇し，夜は呼吸作用で酸素を消費するので下降すると考えた．Station B3 (B3′) より沖に向つて個体数が減少する事は，本州南方にある黒潮の小さな gyre のためかもしれない．一般に gyre の内部は外から栄養塩類が補給されぬために生物の個体数は少い．更に眼を大きく北太平洋に転じると，中部の大きな gyre では有孔虫個体数 (BRADSHAW, 1957)，燐酸塩 (GRAHAM and MOBERG, 1944[15]; WOOSTER, 1953[16]) は共に著しく少い.

（2） 種の分布

Arctic, subarctic (親潮) waters の indicator である *Globigerina pachyderma* (EHRENBERG) は全く発見されず，*Globigerina bulloides* D'ORBIGNY を除いてはすべて暖海種より成る事は，これらの資料を採集した所は当時黒潮内にあつた事を示す．これは 32 年8月の海況 (淵, 1959[17]) と一致する．*Globigerina bulloides* D'ORBIGNYは暖・温・寒水に広く分布するが，寒水に稍多い.

鑑定の困難な幼形 young form を除くと，*Globigerina eggeri* RHUMBLER, *Globigerinoides rubra* (D'ORBIGNY) が高い頻度を示す．両種とも暖海の indicator である．stations K5, B3, B3′ で *Globigerinoides rubra* (D'ORBIGNY) が最高の頻度（それぞれ 71, 50, 26%）を示す事は，これらの stations が黒潮主軸に沿うためかもしれない.

頻度は小さいが *Globigerinoides sacculifera* (BRADY), *Globorotalia menardii* (D'ORBIGNY), *Pulleniatina obliquiloculata* (PARKER AND JONES), *Hastigerina murrayi* THOMSON, *Globigerinoides conglobata* (BRADY) は熱帯・亜熱帯水の indicator であり，*Globorotalia truncatulinoides* (D'ORBIGNY), *Globorotalia hirsuta* (D'ORBIGNY), *Globorotalia punctulata* (D'ORBIGNY) は暖海種である.

Stations B1～B5 はそれぞれ B1′～B5′ と略同じ位置にあり，前者は32年夏，後者は33年春に採集が行われ，水温は約 8～10°C 異る．従つて生物群集の季節変化を研究するのに良い筈であるが，前述のように 33年春の資料は B3′ を除き

石灰殻が溶けていて，32年夏の資料との比較は出来ない．しかしB3とB3′では総個体数が極大を示す事，*Globigerina eggeri* RHUMBLER が全く存しない事，*Globigerinoides rubra* (D'ORBIGNY) が高頻度を示す事は共通である．同一水塊中では水温の変化よりも岸からの距離に伴う他の要素がより大きな影響を生物，少くとも有孔虫，に及ぼすのかもしれない．

以上のように今回の研究では僅か2本の断面に沿つて同じ水塊（黒潮）中で採集されたために，また一部資料中の石灰殻が溶けていたために，黒潮内の細かい動きを推察するに足る data が得られなかつた．

文　献

1) NAKAI, Z., 1957: "An outline of biological survey and distribution of wet weight of macroplankton in the "Kuroshio" area, south of Honshu, May 1955." Records of Oceanographic Works in Japan, Special Number (New Series), pp. 103-119.
2) KING, J.E. & DEMOND, J., 1953: "Zooplankton abundance in the central Pacific." U.S. Fish and Wildlife Service, Fish. Bull. 82, p. 111-144.
3) ASANO, K., 1957: "The Foraminifera from the adjacent seas of Japan, collected by the S.S. Soyo-maru, 1922-1930. pt. 3-planktonic Foraminifera". Sci. Rept. Tohoku Univ., Sendai, Japan, Second Series (Geology), vol. 28, pp. 1-26.
4) LOHMANN, A., 1920: "Die Bevölkerung des Ozeans mit Plankton nach den Ergebnissen der Zentrifugenfänge während der Ausreise der "Deutschland" 1911." Arch. Biontologie, vol. 4, no. 3, pp. 1-617.
5) SCHOTT, W., 1935: "Die Foraminiferen in den äquatorialen Teil des Atlantischen Ozeans." Wiss. Ergeb. deutsch. Atlantische Exped. METEOR 1925-1927, vol. 3, pt. 3, pp. 43-134.
6) PHLEGER, F.B, 1945: "Vertical distribution of pelagic Forminifera." Amer. Jour Sci., vol. 243, pp. 377-383.
4) ——, 1951: "Ecology of Foraminifera, northwest Gulf of Mexico. Pt. 1, Foraminifera distribution." Geol. Soc. America, Mem. 46, pp 1-88.
8) ——, 1954: "Foraminifera and deep-sea research." Deep Sea Res. vol. 2, pp. 1-23.
9) ——, PARKER, F.L. & PEIRSON, J.F., 1953: "North Atlantic Foraminifera." Repts. Swedish Deep-Sea Exped., vol. 7, fasc. 1, pp. 3-122.
10) BIERI, R., 1957: "Distribution of the planktonic Chaetognatha in the western masses of the Pacific." Unpublished Ph. D. thesis, Univ. of Calif., Scripps Inst. Oceanography, La Jolla, Calif.
11) BRINTON, E., 1957: "Distribution, faunistics and evolution of Pacific euphausiids." Unpublished Ph. D. thesis, Univ. of Calif., Scripps Inst. Oceanography, La Jolla, Calif.
12) BRADSHAW, J.S., 1957: "Ecology of living planktonic Foraminifera in the north and Equatorial Pacific Ocean." Unpublished Ph. D. Thesis, Univ. of Calif., Scripps Inst. Oceanography. La Jolla, Calif.
13) HIDA, T.S., 1957: "Chaetognaths and pteropods as biological indicators in the North Pacific." U.S. Fish and Wildlife Service. Spec. Sci. Rept. No. 215, 13 pp.
14) RHUMBLER, L., 1911: "Die Foraminiferen (Thalomophoren) der Plankton Expedition etc., Pt. 1, Systematik." Ergeb. Plankton-Exped. Humboldt Stift., vol. 3, 331 pp.
15) GRAHAM, H.M. & MOBERG. E.G., 1944: "Scientific results of cruise VII of the CARNEGIE." Publ. Carnegie Inst. Washington, no. 562, pp. 1-58.
16) WOOSTER, W.S., 1953: "Phosphate in the eastern North Pacific Ocean." Unpublished Ph. D. thesis, Univ. of Calif., Scripps Inst. Oceanography, La Jolla, Calif.
17) 淵　秀隆，1959："昭和32年東北海区綜合海況" 日本海洋学会誌，15巻，1号，23頁．

The Journal of the Oceanographical Society of Japan
Vol. 15, No. 3 October 1959

マグロ類の分布と海洋構造*

中村広司**, 山中一**

Relation Between the Distribution of Tunas and the Ocean Structure

Hiroshi NAKAMURA and Hajime YAMANAKA

Abstract: The distribution and migration of a tuna has been explained mainly as the adaptation of the fish to the temperature, however, NAKAMURA hypothesized as below from the fact that the fishing grounds of different characters are formed with close relation to the ocean current systems.

1. The current systems or different water systems are the life environments of individualities. Tunas live separately in different current systems not only according to the species but also to their different ecological stages.
2. The turning season of the ecological stages, though there may be some differences in accordance with species, are thought to be rather short periods around March and September, and they migrate on large scales between the current systems in these seasons, etc..

These suppositions have been examined by the succeeding studies. In the present paper, the relation of the distributions and migrations of the tunas and the ocean structure is illustrated. In addition to it, the possibility is discussed from the data of the commercial fishery, that the distribution of tunas are of use as the indicator of the seasonal and annual variation of the ocean conditions.

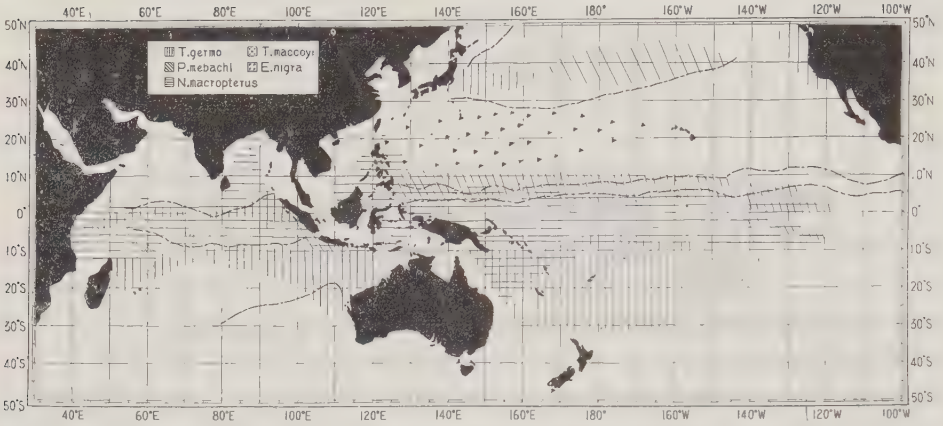
緒　言

マグロ類（カジキ類も含む，以下同様）の分布と**回遊**は，多くの場合に，温度に対する適応の見地から説明されてきた．中村[1]～[4]は，a) マグロ漁場が海流系と密接な関係をもつて形成されること，b) 同種のものでも異つた海流系に分布するものは異つた生態のものであること，等に着目し，次のように想定した．

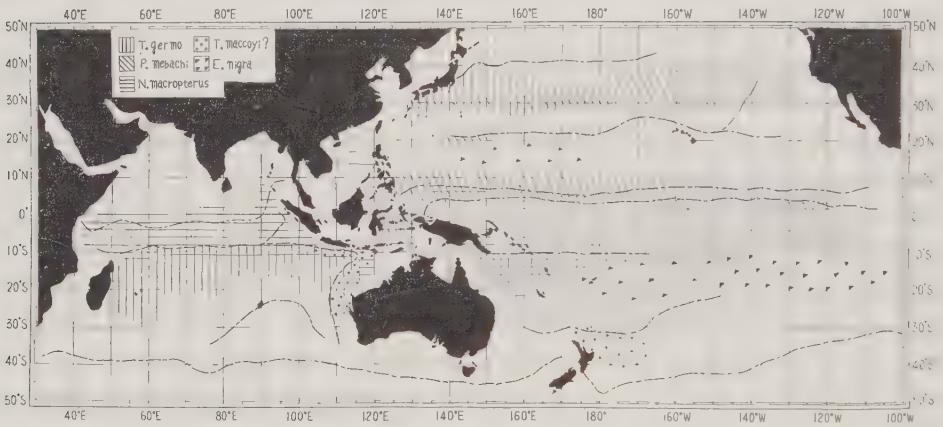
1. 異つた海流系或は水系は，異つた性格の生活圏となつている．
2. マグロ類は種により，或は生態の過程により，海流系或は水系別に一種の棲み分けを行つている．
3. したがつて，海流系はそれぞれ性格の異つた漁場となつている．
4. **回遊**は二つの場合に大別される．第一は同一海流系中の**回遊**で，第二は海流系間の**回遊**である．前者は同一生態下の**回遊**で，後者に移行する過程といつてよく，**回遊**そのものが海流系の季節的消長を反映したものと認められる場合が多い．後者の場合は，生態の転換に伴うもので，魚自体が積極的に動く．
5. 海流系間の**回遊**の行われる主要な時期は，魚種によつて多少の相違はあつても，3 月と 9 月を中心とするやや短期間であり，これ等の時期を転機として各海流系の漁場としての意義や性格は一変する．

以上の想定は中村[5]～[6]その他により逐次その成立が立証されつつあるが，「マグロ延縄漁業平年漁況図(註), 1958 年版」[7]についてみると，それぞれ性格を異にする漁場が明瞭な pattern となつて現われている．それ等の pattern を，上述の想定に基いてそれぞれ異つた水系とすると，マ

* 1959年9月24日受理
** 水産庁南海区水産研究所 Nankai Regional Fisheries Research Laboratory.



a. Summer type.



b. Winter type.

Fig. 1. Diagramatic distribution of the fishing ground of tunas and marlins and the boundary of the ocean current.

グロ類の分布状態から，巨視的には海洋構造やその季節変動等が推定出来そうである．

この報文に用いられた資料は，当所並に府県試験場，学校練習船等によつて蒐集され，当所員が取まとめたものである．記して厚く謝意を表す．

I. 主要魚種の主要漁場

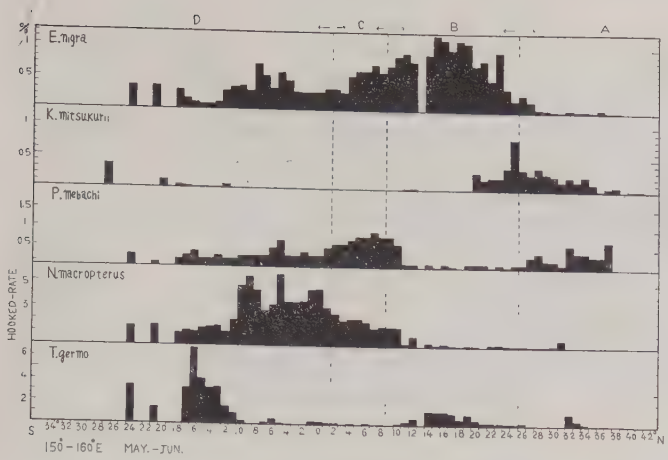
第1図に，インド・太平洋域の主要魚種の主漁場を模式的に示した．aは夏型，bは冬型の漁場分布である（夏，冬の季節は北半球のものである．以下同様．）．図中の潮境線は，水路部[8]，日高[9]によつたが，冬型に記された太平洋の 10°S 附近のものは，後述のように，マグロ類の分布からその所在が想定され，立証されたものである．図から各主要漁場即ち分布域は，東西に長い帯状に形成され，海流系と密接な関係にあることは明かである．

II. 分布状態の南北断面

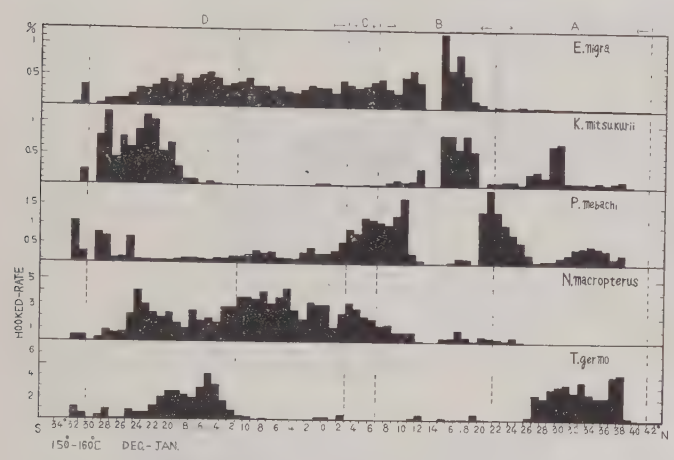
第1図から，漁場即ち魚の分布の地域差は，略同緯度では，特別の場合以外には断層的には現われないが，南北の方向には断層的に現われるものと想定される．

第2図は，150°～160°E の間を経度1°毎に刻み，緯度1°，経度10° の区画内の平均釣獲率を魚種別に示したもので，aは夏型（5～6月），bは

(註)経緯度 1° 区画内の平均釣獲率を月別にプロットしたものである．釣獲率は釣100本当りの漁獲尾数で，魚の分布密度に比例する．



a. Summer type.



b. Winter type

Fig. 2. N-S section of hooked-rates of tunas and marlins in the Pacific between 150° and 160°E.

冬型（12～1 月）となつている．この区間には，ソロモン群島等の諸島嶼が含まれて地形の影響があり，南北の断面をみるには好適でないが，資料の関係から止むを得ずこの区間をとつた．また図は，時と共に変動しつつあるものの姿を 2 カ月にわたつて平均しているから，種々の誤差が当然加つている．もしある瞬間の状態を示し得れば，魚種による分布域の分離は一層明瞭となろう．しかし，本図から次の事が認められる．

1. 海流系或は水系の相違を明瞭に反映した分布を示すもの（例，ビンナガ）．
2. 海流系の相違に拘束される度が不顕著なもの（例，クロカジキ）．
3. 潮境に集まる性質が強いと思われるもの（例，メバチ）．
4. 分布域が魚種間で明瞭に分離しているもの（例，キハダとビンナガ）．
5. 魚種間の分布域が重複しつつもなおその分離が認められるもの（例，メバチとキハダ及びビンナガ）．

以上は釣獲率に基くものであるが，同一種でも魚体組成（キハダ[10]，ビンナガ[11]，マカジキ[12]等）によつて，分布域が海流系別に分離されることも知られているから，これ等の知見を合せると，海洋構造について種々の想定が下される．それ等の想定や想定の立証された 2, 3 の事例は以下の如くである．

III. マグロ類の分布からみた海洋構造

A. 太平洋方面

北太平洋流々域（主として日本海流の東流部）についてみると，冬型では略 27°～38°N, 130°E～175°W の範囲はビンナガの分布域となり，以東はメバチの分布域となつている（第 3 図）．

このことは，175°W 附近の海洋構造に断層的な変化があることを示唆している．

しかし夏型の場合には資料がなく，変化の有無は不明である．

赤道反流を中心とした海域は，主としてメバチとキハダの分布域となつている．両季を通じてメバチの分布域は，西方では赤道反流の北側の潮境附近に限られているが，東方に移るにつれて次第に南方に拡がり，ついには赤道反流の南側に及んでいる（第 1 図参照）．かようにメバチの分布が南方に及ぶ理由は不明であるが，この方面ではメバチとキハダの分布域の分離が次第に不明瞭となつている．夏型では，140°W 附近を頂点とし赤道に沿つてメバチとキハダの分布域を楔状に分

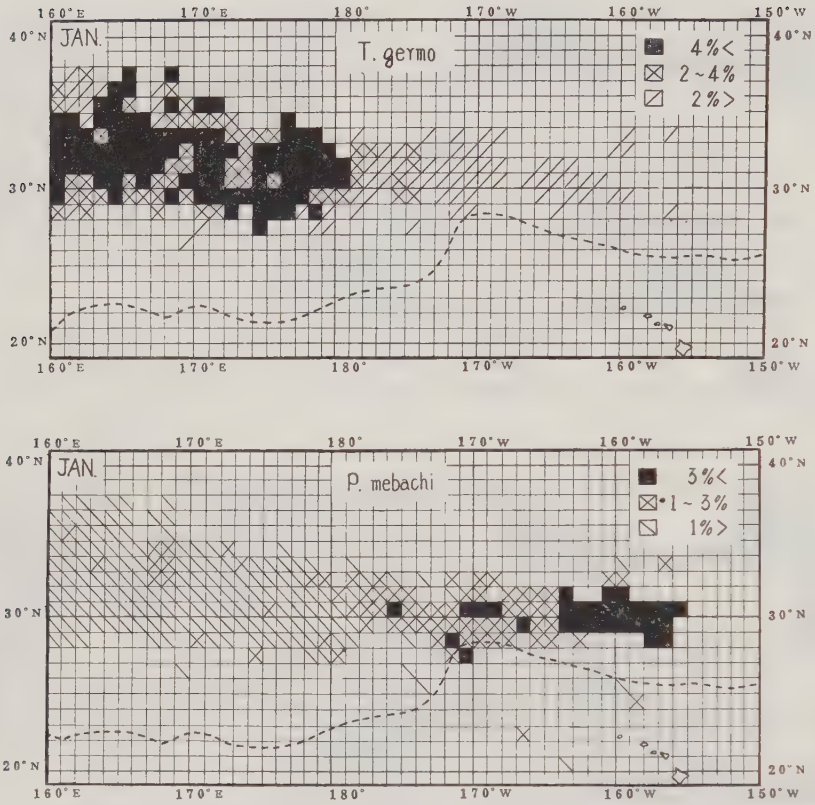


Fig. 3. Hooked-rates distribution of the albacore and the bigeye in the North Pacific.

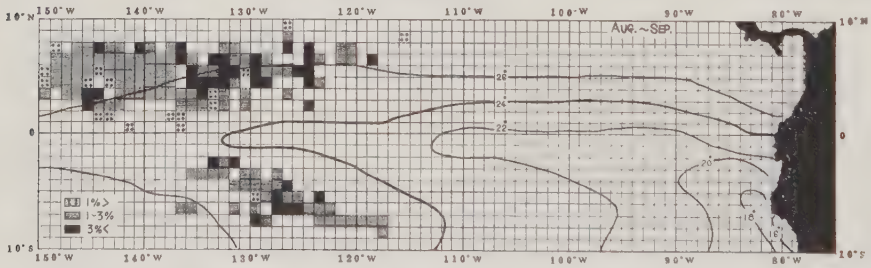


Fig. 4. Hooked-rates distribution of the bigeye and the surface temperature in the Eastern Equatorial Pacific.

離する水系がみられるが，この楔状部の表層水温は24°C以下となつている(第4 図)．冬型では資料が少く明かでないが，24°C の等温線はペルー沿岸に退いているから，漁場の分離はないものと想定される．南赤道流々域の北縁部はキハダの分布域となつている．夏型に比して分布域は南方に拡がり，濠洲近海では25°S附近に達するが，このことは東オーストラリア海流の勢力の増大を反映したものと考えられる．

ビンナガの分布の北縁が，冬季に 10°S 附近に明瞭にみられることから，中村[13]は 10°S 附近に潮境の存在を想定したが，その想定は山中[14]によつて立証されている．夏にはビンナガの分布域が北方に拡がり 3°S 附近及ぶところもあるが，10°S 以北の分布密度は小さい．3°S に及ぶ分布域の北縁部には，海洋構造にも不連続的なものが

あることが想定される．30°S 以南のニュージーランド近海では，冬季にはビンナガの若年魚と southern bluefin(?) の分布域がみられ，それ等の北縁は日高[9]の潮境に一致している．

B. インド洋方面

略 0°～8°S の範囲は，夏季には流向不定の海域となり，冬季には東流のみられるところとなつている．

8°S 以北の海域は，夏冬ともにキハダの分布域となつているが，夏には流向不定の海域の北縁に沿つて，狭い帯状にビンナガの分布域がみられる．夏季にはキハダの分布域が北方に拡がり，4月～6月にはベンガル湾にもかなり濃密に分布する．ビンナガの主要な分布域は，周年 8°S 以南となつている．

東部インド洋では，冬季にはジヤワ沿岸に沿い，ロンボック水道附近から南西に向い濠洲西岸に沿つて南下する潮境があり，この潮境によつてキハダとビンナガの分布が分離され，潮境に沿つてはインドマグロ (southern bluefin(?)) の分布がみられる．夏季にはビンナガの分布域が東方に拡がり，120°E 附近に達して居り，この附近に生活圏としての境界即ち不連続的な海洋構造の存在が想定される．

I～III を通観すると，種類によつて潮境に拘束される度に差異があることが考えられると共に，生態によつても差異があることも考えられる．また潮境のマグロ類の分布に対する拘束性も一様ではなく，極前線，亜熱帯収斂線等は強力であり，赤道反流の南北の潮境は，前二者よりも弱いものと考えられる．しかし赤道反流部には，後述のように大規模な南北方向の振動的な変化があり，平均された釣獲率で示される分布密度では，見掛上拘束力が弱く現われる可能性も考えられる．

IV. 海況変化の指標としてのマグロ類の分布

第5図に 150°～155°E の赤道海域におけるキハダとメバチの緯度別の釣獲率と海流の分布を示した．上半の釣獲率は 1958 年 2 月の前半，下半は同年同月の後半のものあでる．海流系の範囲は「拓洋[15]」と「さつま」による IGY の観測結果

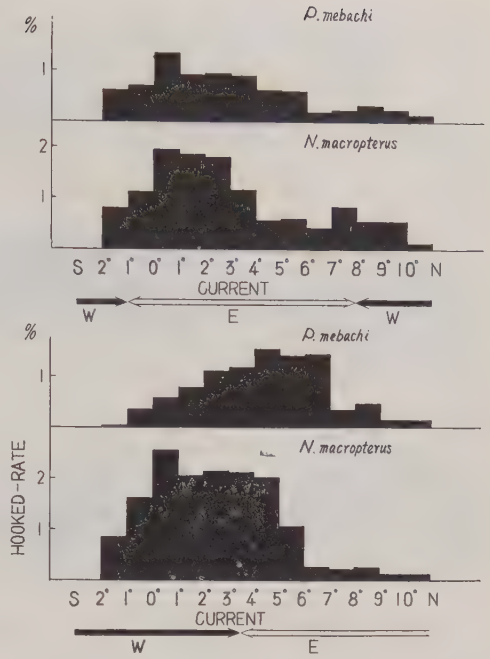


Fig. 5. N-S section of the hooked-rates of the bigeye and the yellowfin in the Equatoiral Pacific between 150° and 155° E, and the schematic representation of the current in the same areas based on the observations carried out by the "Takuyo" and "Satuma", Feb. in 1958.

upper.....early half of the Feb.
lower.....later half of the Feb.

で，上部は同年同月 11 日以前，下部は 11 日以後の状態である．

図から，東流部（赤道反流）の南縁は，短期間に約 4°～5° 北方に動いているが，メバチとキハダの分布の重心も著しく動き，海況の変化を反映したものと考えられる．

第6図に北太平洋流々域におけるビンナガの分布状態を示した．図は経緯度各 1° 区画内の釣獲率の累年の平均を示したものである．

図のように，分布域の南縁の移動状況は，亜熱帯収斂線のそれに略一致し，分布の重心は季節と共に南西に移るが，これ等の移動は 3 月には停止し，4 月になると反転する．

北太平洋流々域におけるビンナガの上述のような動きは，魚の動きというよりも，生活圏である北太平洋流々域の季節的消長を反映したものと考

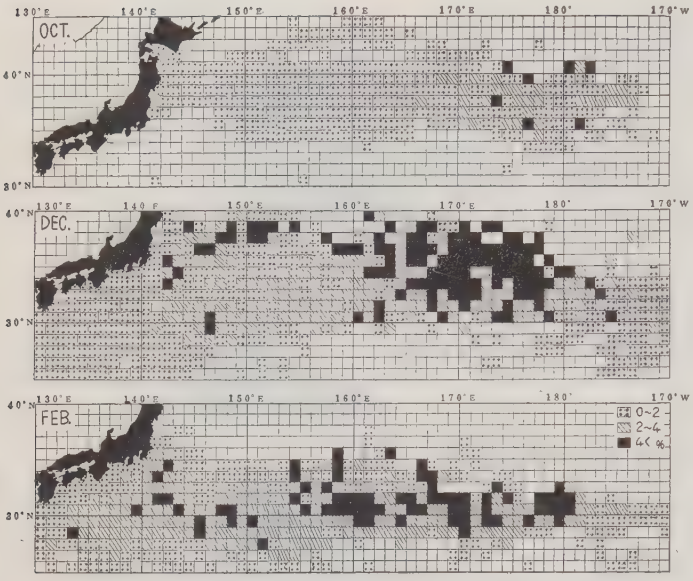
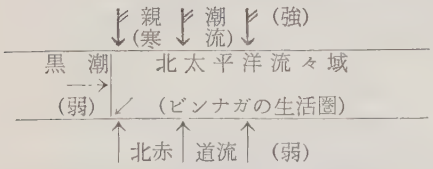


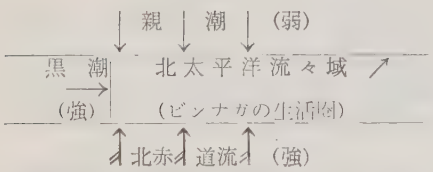
Fig. 6. Hooked-rates distribution of the albacore of every other month in the North Western Pacific.

える方が妥当性が大きく，次のような機構が想定される．

A. 10月～3月（南西方向の移動期）



B. 4月～9月（北東方向の移動期）



既に示した各図にしても，マグロ類の分布や回遊は，すべてこのような水系の季節的消長を反映している可能性を示唆するものであり，資料と知見が更に充実すれば，年による変動も充分に論じ得られよう．

第二の場合の回遊，即ち海流系間の回遊と海洋構造との関係はまだ全く不明であるが，3月と9月を中心とするやや短期間に行われるものであることは，これ等の時期を転機として夏型，冬型の漁場配置となり，各漁場の釣獲率，魚種組成，魚体組成等が一変することから明かである．

いまのところ首題との直接の結びつきはないが，3月と9月を境に，新しい漁獲対象群が各漁場に添加されることが明かにされいる（添加の時期は，北半球では主に3月，南半球では主に9月と想定される）．添加群に関する知見がやや豊富となつている北部太平洋域のメバチとビンナガ[16]についてみると，添加群の年による量的変動は，両者に略同傾向となつて現われている（第7図）．このことは，添加群の量的変動が，これ等の魚に内在的な原因によるものというよりも，a) これ等の魚の産卵海域となつている熱帯海域における発生時または幼稚魚期等の環境条件，b) 繁殖海域から成育海域（北太平洋流々域）への添加時の環境条件，等の支配による可能性を強く示唆するものと考えられる．かような環境条件がどのようなものか明かでないが，a, b の想定の成立を仮定すれば，メバチやビンナガの漁況から，環境条件の変化の発現だけは知り得よう．

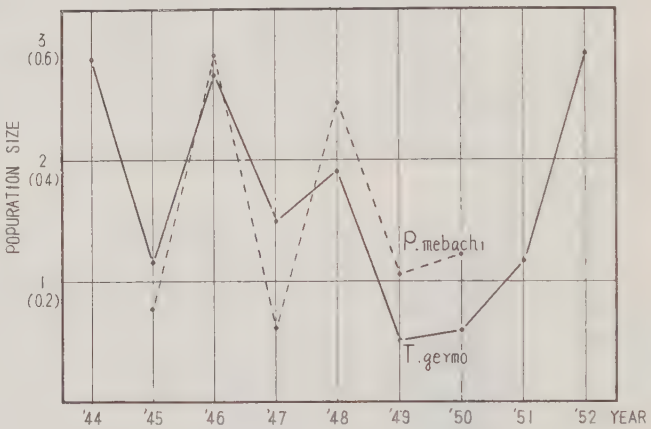


Fig. 7. Comparison of the reproducted year class size of the albacore and the bigeye (after Suda A.).

Figures in parenthesis represent population size of the bigeye given by hooked-rates.

マグロ類の分布や洄游が，海洋構造や海況変化の指標となること及びその可能性は以上の如くである．この方法によれば，極めて広大な海域からかなり継続的に情報が得られる大きな利点があり，広範囲にわたる巨視的な海況変化の指標としては甚だ有力である．しかしそれ等の情報が速報的には得られ難いこと，詳しい海洋学的論議は不可能なこと等の欠陥は如何ともなし難いところである．

以上のような知見はしかし，マグロ漁業の海洋学には新しい発展方向を与えるものであると共に，沿岸漁業との間に何等かの関係が求め得られるならば，沿岸漁業にも寄与するものとなろう．

引用文献

1) 中村広司，1943：
“マグロ・カヂキ”，海洋の科学，**3**，10.

2) 中村広司，1949：
“マグロ類とその漁業”，竹内書房．

3) NAKAMURA, H. *et al.* 1951：
“Notes on the life-history of the sword-fish, ***Xiphias gladius*** LINNAEUS.”, Jap. Jour. Ichthy., **1**, 4.

4) 中村広司，1954：
“海流とマグロ漁場”，水産科学，**14**.

5) NAKAMURA, H. *et al.* 1955：
“The occurrence of the fishes contaminated with radioactivity according to the species of fishes”, Research in the Effects and Influences of the Nuclear Bomb Test Explosions, Jap. Soc. Prom. Sci.

6) 中村広司．上村忠夫．他，1958：
“東光丸による中南米漁場調査報告書”，水産庁．

7) 南海区水産研究所，1959：
“マグロ延縄漁業平年漁況図，1958 年版”，日本鰹鮪漁業協会組合連合会．

8) 水路部：
“海流図”，No. 6031，No. 6331”．

9) 日高孝次，1953：
“海流”，岩波書店．

10) 藪田洋一，1957：
“キハダの緯度による魚体差”，南．水．研．報．，**5**.

11) 須田明，1956：
“ビンナガの研究—Ⅲ．海流別にみた体長組成”，日．水．誌．，**21**，12.

12) 上柳昭治，1954：
“マカジキの漁況と魚体組成に見られる年変動”，日．水．誌．，**19**，11.

13) 中村広司，1955：
“マグロ延縄漁業平年漁況図（二）”，水産時報，**7**，75.

14) 山中一，1956：
“西南太平洋 10° S 附近の鉛直海洋構造とビンナガの漁況”，日．水．誌．，**21**，12.

15) 吉田昭三．他，1959：
“赤道海域一齊海流測定（国際地球観測年）について（1958 年 1～2 月）”，水路要報，**59**.

16) 須田明，1959：
“マグロ延縄漁業平年漁況図．1958 年版”．

寄　稿

海岸近くの流水の名称について*

海洋学用語専門部会・潮汐波浪分科会**

海岸の近くでは，波浪，風，局所的な密度の不均一，その他いろいろな原因によつて各種の流れが存在する．規模も様々で，いそ波帯に限られるものもあるが，その外側の近接した深海まで考慮しなければならないものもある．方向は岸に平行なものも直角なものもある．これらは，沿岸の諸産業海岸工事，地形，地質などと密接な関係があり，各方面で注目されているが，名称が人によつて異なり，かなりの混乱が見られる．これは現象そのものが複雑でよく解明されてない事に基因すると思われるが，お互いの知識を整理するために一応の規準を与えておく事は必要であろう．

当分科会は名称の一試案を作つたのであるが，吾々の知識は充分なものでなく，また関係する所が大きいので，この欄で試案を紹介し，関係方面の御批判と御教示をお願いする次第である．なお用語選定は日本語を中心とし，それに相当する英語を求めるのが建前であるが，吾が国ではこの方面の研究は日が浅く，外国の文献を利用する事が多いので，英語を中心とし適当な日本語をさがすという立場に立たざるを得なかつた．また用語が当用漢字に制限されているのも考慮しなければならなかつた．以下に示す英語の説明は R.L. Wiegel 編: Waves, tides, currents and beaches glossary of terms and lists of standard symbols; published by the Council of Wave Research, and Engineering Foundation (Bldg. 159, Engineering Field Station, University of California, Richmond 4, California, U.S.A.); 1953. によつた．また土木学会海岸工学委員会編の「海岸工学用語集」，1956，も参考にした．

* 1959年7月31日受理

** 委員：日高，中野，吉田，宮崎，宇野木

分科会案	相当英語	説明	従来の日本語訳
沿岸流 (enganryû)	coastal current	Those currents which flow roughly parallel to the shore and constitute a relatively uniform drift in the deeper water adjacent to the surf zone. These currents may be tidal currents, transient, wind-driven currents, or currents associated with the distribution of mass in local waters.	海岸海流*，海岸流
海岸流 (kaiganryû)	inshore current	Any current inside the surf zone.	海浜流*，沿岸流
海浜流系 (kaihinryû-kei)	nearshore current system	The current system caused by wave action in and near the breaker zone, and which consists of four parts: the shore-ward mass transport of water; longshore currents; rip currents and the longshore movement of the expanding heads of rip currents.	海浜流系統*
向岸流 (kôganryû)	onshore current	Any current flowing towards the shore.	向岸流*
並岸流 (heiganryû)	alongshore current, longshore current	A current located in the surf zone, moving generally parallel to the shore-line, generated by waves breaking at an angle with the shoreline. See Nearshore Current System.	[砕け波の] 沿岸流*，並岸流*，岸沿い流れ*，横流れ*，沿汀流，長汀流
離岸流 (riganryû)	offshore current	Any currents flowing away from shore.	離岸流*
リップ・カレント (rippu-karento)	rip current	A strong surface current of short duration flowing seaward from the shore. It usually appears as a visible band of agitated water and is the return movement of water piled up on the shore by incoming waves and wind. With the outward movement concentrated in a limited band its velocity is somewhat accentuated. A rip current consists of three parts: *The feeder*	沖出強流，離岸流*

		current flowing parallel to the shore inside the breakers; *the neck*, where the feeder currents converge and flow through the breakers in a narrow band or "rip"; and *the head*, where the current widens and slackens outside the breaker line. A rip current is often miscalled *a rip tide*.	
波成流 (haseiryû)	wave current	波浪に起源をもつ流れ．海浜流系許りでなく，深海の Stokes の有限振幅波に見られるような質量輸送などもこれに含まれる．	—

* 「海岸工学用語集」に採用されているもの．

試案は大体次のような考えに基ずいている．

1. coastal current は岸から数十 km 沖に至るかなり規模の大きい流れである．「海岸」より「沿岸」の方が広範囲に思われるので，「沿岸流」を当てた．
2. 一方，inshore current はいそ波帯附近の規模の小さい流れであるから，「海岸流」を採用した．
3. alongshore current または longshore current は，岸に平行に流れている意を汲んで，「並岸流」とした．
4. 岸に向う流れを「向岸流」onshore current，岸から沖に向う流れを「離岸流」offshore current としたのは自然であろう．なお offshore current には "currents outside the surf zone" という意もあり，波流と訳されているが，特に学術用語として採用する必要もあるまいという考えである．
5. rip current は適当な訳が見当らず，そのまま用いる事にした．(直接は関係ないが，surf beat の日本語も単にサーフ・ビートを考えている．)
6. nearshore current system の概念は必要であるので採り上げたが，system を系と訳して充分意味が通じるように思われる．沖合においても，波浪に起源をもつ流れも重要であるので，これらを総称して波成流とした．波浪流としなかつたのは，特別の理由は無い．
7. この他，littoral current もあるが，"currents near the shore of an ocean or lake" の意味なので，漠然とし過ぎるし，上述の用語があれば日本語として不自由が無いと思われるので考えなかつた．undertow は現象が明瞭で無いので，現段階では取り上げるに及ぶまいと考えた．

御意見を本欄を通じるか，もるいは直接委員宛にお届け頂ければ幸いである．

最近のソ連の流速測定装置

海流，潮流を観測する方法は，1955年 BÖHNECKE[1]が示したように種々考えられる．その後も各種の流速計が考案されているが，筆者は最近のソ連の報告にもとづいてソ連の流速計について二，三紹介し御参考に供する．

ソ連でも一般に EKMAN のプロペラ式流速計が用いられているが一方 (a) EKMAN 流速計の原型を残し，測定の読取りを簡単に，容易にすること (b) 他の物理現象を利用することによつて新しい測流装置をつくることに力が注がれていると考えられる．

(1) IVANOV の流速計[2]：殆ど EKMAN の流速計の原型そのままであるが，流速計をその度毎に水からあげて読取る労力と時間の浪費をなくするために，SVERDRUP DAHL の流速計及 OTT の電気式流速計の原理を応用している．OTT の方式によれば流向測定はミリアンメーター回路を用いた電気抵抗測定に帰するが，その伝送機構の家内工業による製造は容易ではない．また流速測定のためにプロペラの回転毎に接点が閉じたり開いたりするように偏心盤をとりつけてある．そこから導線は船上に導かれて点接計数装置，すなわちプロペラの回転数計数装置につながる．

(2) JUKOV の流速計[3]：L. A. JUKOV の電接装置をもつたプロペラ式流速計である．MESCHERSKII は流速計にこのような回転式電気接点をとりつけると便利であるといつている．すなわちこの装置を流速計にとりつけたとしても測流部分（プロペラ）の構造を改変する必要はない．JUKOV の電接装置の特長は a) 12 ボルト程度の電圧で点接自記をさせることができる，b) かなりの深さで用いることができる，c) 電圧を調整してやることにより接点に原因する故障を容易に防ぐことができるという点にある．

(3) J-3 型流速計[4]：外見は PRICE の流速計に似ているが，この流速計では電気的インパルス計数装置により流向及流速を知る．この流速計は電磁リレーを内蔵し，これが流向及流速測定のための接点を作動させる．ILLARIONOVによれば流向の測定は他のプロペラ式流速計による測定に劣らないといわれる．またこの流速計の特長は a) 沖積土を混在する乱れた水の中でも作動させることができる b) 流速計をその度毎に水面からあげなくても測定ができる c) 水中に沈めるための補助装置は必要でなく，ふつうの小船ででも用いることができる．

(4) 熱電式流速計[5]：これは実際の研究において0乃至 5 cm/s. の範囲の水の微小な流速を測定する必要にせまられ考案されたものである．また高感度で小型である点で従来のピトー管式あるいはプロペラ式流速計とは異つている．今加熱コイルを水中に必要な深さに沈め，コイルに電流を流して加熱してやる．加熱部分の表面と

流水の間の熱交換は流水の速さの函数である．加熱部分の温度変化を熱電対からガルバノメーターに導き読取るならば，ガルバノメーターの読取値と流速との関係をあらかじめ調べておくことにより，流速を知ることができる．ここでは測定の精度を 0.2 cm/s. になるように工夫した．温度差を測定の対称とするので原則的に言つて水温の効果はあらわれないのが当然である．更に感度をあげるため2つのサーミスターをブリッヂに組んで用いる．

References

(1) BÖHNECKE, G., 1955: The principles of measuring currents. Assoc. d'Oceanogr. Phys. UGGI. Pub. Sci. No. 14.

(2) IVANOV, R. N., 1957: Elektrimetritscheskaja morskaja Vertuschka. Trudi Mor. Gidrophys. Inst. Akad. Nauk USSR, Tom XI, pp 73-83.

(3) MESCHERSKII, V. I., 1958: Ob elektrokontaktnom pricposoblenim k morckoi vertuschke. Meteor. i Gidrol. No. 2, pp 46-47.

(4) ILLARIONOV, V. I., 1958: Struemer—Ismeritem skorocti i napravlenja tetschenja: Meteor. i Gidrol. No. 6, pp 49-53.

(5) RIMSCHA, V. A., 1958: Pribor drja ismerenija marix shoroctei tetschenja wodi. Meteor. i Gidrol. No. 9, pp 44-46.

京都大学地球物理学教室

中　村　重　久

米国海洋学界視察だより

宇　田　道　隆

次に 1959 年7月1日～8月14日（及び2月～3月シヤトル）米国の海洋学・水産学関係の研究所をめぐり歩いてみた雑感を御参考までに記しました．

（1）　長期海況予察の研究

この問題は特に最近水産海洋学界関係の中心題目になつている観があります．カナダ (POG) では J. TULLY, A. DODIMEAD らがアラスカ湾を中心とする北部太平洋につき努力しており，N. FOFONOF は北半球天気図から *curl τ* を求めて数値予察に電気計算機を使つてやつております．米国の Palo Alto にある Stanford 大学の Jordan Hall には，FWLS の O. E. SETTE らが長年の北太平洋表面水温分布図（月別）と，その延長に深い関係を示す結果が最近注目をひき期待されています．Scripps 海洋研究所では，加州イワシ漁変動と対照して ISAACS が気象・水温などの長年変化を調べており，G. RODEN は特に海流と気象との関係につき興味ある数値的研究成果を得，*Journal of Geophysical Research* に出しています．Woods Hole の I. I. SCHELL は南北両半球の気圧分布・海氷・水温の地域的相関の移り動きをたどり，*Journal of Meteorology* に次々に発表しております．Washington D. C. にある水路部では，IBM をつかつて海氷性状と水温相関等につき尨大な資料を迅速に処理しておりますが，いたるところ電子計算機により海流力学計算・波浪解析その他漁業資料（例えば加州水産局など）にいたるまで画期的なスピード能率化を示すにいたりました．エレクトロニクスの技術者は海洋学に必須なものとなつて来ました．Scripps の W. WOOSTER は 5,000 m 層の水温・酸素の世界的分布図から深層流を推論する一方，ペルー海流域の El Ninõ のような長年変動を示す面白い結果を最近発表しました．赤道潜流（クロンウエル海流）の実測には J. KNAUS らがみごとな成功を見せました．今この東太平洋赤道マグロ漁場の海洋学的構造に関しては，故 T. CROMWELL にひきつづき POLLAK, BENNET らが盛んにやつており，中米沖の ridging, dome と冬季々節風による湧昇や島礁周辺の渦流・湧昇などを実測に基き解析しています．M. B. BLACKBURN も海洋生物学的に中米沖マグロ漁場研究をまとめており，M. B. SCHAEFER らの資源力学的マグロ（中南米）研究とよい対照です．Hans KLEIN らもルーチンの加州イワシ漁場の海洋学的実測値の解析取まとめに当つております．

ハワイの POFI でもカツオ・マグロの漁況予知と海況（特に塩分変化）との関係につき興味ある成果を 1958 年の報告で出しています．Miami 大学では J. K. HOWARD らが世界カジキ・マグロ分布図を作つていました．近年日本マグロ漁業者の南太平洋・インド洋・大西洋漁場開拓は世界的に非常な関心を集めており，中には誤解の向きもあるのでその質問の都度よく説明してあげています．メキシコ湾のエビ漁況も降水量と密接な関係が認められ，幼期の海流による輸送散布も水産研究所やMiami 大学海洋研究所で調べております．Woods Hole の水産研究所では底魚（ジョージア・バンクを中心とするハドック等）の同様な問題を熱心に追究しておりました．

（2）　海洋測器の進歩

Thermostat salinometer（恒温電導度利用塩分計）は今や一般標準測器になろうとしております．Woods Hole 海洋研究所・Washington 大学海洋研究所・POG（カナダ）・英国 N.I.O. など船上陸上盛んに使われ，精度も従来の塩検法より一桁高く，スピード等もすぐれ Scripps もこれに転ずる様子でした．Washington 大学 PAQUET 博士のところでは何台も注文に応じて製作組立中でした．

波向スペクトルや内波の研究に Scripps の MUNK 博や C. S. COX らも新しい測器をつくり自記しております．N.I.O では TUCKER, DARBYSHIRE らが波圧変化を光学的にうつし出して，カメラのスリット廻転と組合せた

波浪解析機をつかつており，別にミクロセイスムスの連続自記研究をして，大西洋暴風中心域の干渉波からくる微動の周期，波形を調べています．

Texas A. M. の海洋研究所では REID や WILSON が engineering oceanography (海洋工学) を強力に進めており，メキシコ湾内の石油採掘施設等に及ぼす波浪の影響など新領域をひらいており，加州やワシントンの Beach Erosion Board の仕事と併せて興味があります．N.I.O. でも CARTRIGHT が船の動揺と波浪の関係を調べると共に，潮汐流によるらしい陸棚縁の砂丘列 (sand dune) を 200 m 近い水深の海底に発見報告しました．海洋物理工学者の活躍が広範囲に期待されます．同海洋研究所では，LOUGHTON が深海底の砂漣の水中写真をみせて呉れました．大西洋で最近深層に Gulf Stream と逆に南流する 15 *cm/s* にも達する意想外の北方起源らしい強い流動を発見 (SWALLOW の pinger で STOMMEL らも測定)、これと関係するものか，それとも振動性の流れによるのか注目されています．Discovery II 世号は昨年イベリヤ半島沖で地中海から流出する 500～2,000 m 層の高鹹水の流動が，10*cm/s* 以上にのぼり大陸斜面に沿い強い西流を示すこと，新しいキヤニオンと支谷での濁度流を想定しましたが，Scripps の SHEPARD は浅いキヤニオンで濁度流を水中カメラでとらえています．サンデイエゴの NEL の R. DIETZ は PICKARD 父子, August と Jack) と新しいバシスカーフ (Mesoscaphe) に掛つております．ここではイカの産卵実況の珍しい水中写真をとり，参考に貰つて来ました．日本の水産界の謎のスルメイカ産卵場を究明したいものです．サンデイエゴの Mission Beach 1 マイル沖に LA FOND らが oceanographic tower を 7 月に建設 (鉄杭を 60 フイートも海底に打込み)，連続して 22層(60フイート深を約 1m おき) の水温をサーミスターで自記すると共に，automatic thermocline follower で温度躍層を追跡しその深度の上下を自記させています．錨定の測量船と塔とブイとで測量をやり，内波や微細海洋構造の研究に新紀元を画しつつあります．

水中音波伝達と海洋微細構造の関係はどこでも大へん金をかけて (軍の援助もあり) やつており，潮境の微細構造との関係の研究は特に関心の的です．金属・木材の水中・空中腐蝕や虫害の研究も方々の海洋研究所でとりあげられていました．Woods Hole 海洋研究所では，ISELIN, VON ARX, RICHARDSON, BUMPUS らが新型ブイ (表層・中層・深層) をエレクトロニクスを応用して電波発振で特殊符号に応答するのを作り実験，来春実用されます．ナラガンセツトの海洋研究所 (FISH, PRATT ら) や，Yale 大学の Bingham 海洋研究所 (MERRIMAN, RILEY ら) はまとまつた沿岸水域の共同研究をそれぞれ進め，John Hopckins 大学の Chesapeack Bay 研究と共に estuarine oceanography, 特に汚水問題や沿岸生産力問題を扱かつています．Prof. R. B. MONTGOMERY は熱心に赤道域海流の実測に基く理論的研究を続けていました．

(3) 新しい観測計画

Washington 大学の R. H. FLEMING らは Scripps の M. JOHNSON と共に今夏は北氷洋へ Brown Bear 号で観測調査にのり出しました．昨年インド洋の Monsoon Operation に A. BRUUN, RAKESTRAW らが Scripps の観測船で出掛け，日本近海へも Baird, Horizon の 2 隻で 4～8 月観測隊が R. FISHER を隊長に遠征の由で，ユネスコへ日本が季節風影響海洋調査を提案採択がすつかりお株をとられたみたいで，まとまりのない日本の現状では仕方ありません．Texas A.M. ではメキシコ湾流源頭の観測にヒダルゴ号で努力中です．Woods Hole 海洋研究所では来春 4～6 月 FUGLISTER を隊長に 3 隻で湾流蛇行や渦流の連続観測をやり，新型測流ブイや pinger が用いられています．飛行機による観測も併用されるでしよう．

(4) そ の 他

(i) 鯨・イルカ・マグロ等の発音があちこちでハイドロフオンを用い音波解析がされ新発見を得ています．

(ii) 各研究所の work shop (工作場)，stock shop (測器整備場)，各種 technician の活動，生理生態実験室 (恒温室—Bingham や Woods Hole 等)，模型実験室 (Woods Hole 等)，セクレタリー事務陣の活動ぶり，library の整備と有能な librarian 等学びたいものです．

(iii) 総合研究の成功裡には深く日本の現状に反省を求めるものを感じさせられました．偏狭な派閥スペシヤリストを離れた高い社会性と協力研究のうちに親しい友人関係がお茶・ランチ・ゼミ・海上共同活動と海洋学全般修得課程等から養われて来ている様です．

海洋物理学基礎研究会 (POBI)*

海洋物理学基礎研究会 (Physical Oceanography Basic Investigation; 略称 POBI) は 1957 年 4 月にはじめられた．海洋物理学の種々の問題について自由に討論できる様な場をもつ事の重要性から，この分野に興味をもつ研究者によびかけて，形式ばらない研究会として発足した．最初の一年間は，いろいろな方面の問題について，世界における近年の研究の情勢を review し，批判し，特に我々が日本でどんな研究をどんな風に進めるべきだろうという様な問題を中心に議論するのが眼目であつた．後掲のリストによつて見られる様な多くの方々に話題を提供していたゞき，更に多くの方々が熱心に討論に参加して下さつたお陰で，その一年間はかなり充実したスケデュールと内容によつて成功を収めたと考えられる．恰度一年経過した 1958 年 4 月，学会の年会があつたとき，地方の研究者の方々との懇談会を開き，地方の方々からのいろいろな希望が述べられた．第 2 年目からはそのス

* 1959 年 10 月 14 日受理

ケデュールは幾分乱れているが，特に関連する他の分野（気象学，海底地質，水産，地震学）等の話をきいて一緒に討論して貰うためそれぞれ特別講演をお願いするという計画を含めた．この研究会は今後もできる限り継続し発展させてゆきたい．今後の方向についてはいろいろな途が考えられるが，更に海洋学のいろいろな分野の研究者が集つてもつと広い範囲の問題に向けてゆく面や，地方の方々にもなるべく加わつていただく機会を多くする等の面も当然考えられている．他方，更に専門別の細かいグループもつくつてそれぞれの討議を深くしてゆくという方向も重要と考えている．会員各位から御意見，御希望，御批判等を寄せられる事を希望したい．

（吉田耕造記）

研究会事務連絡及会合の場所：東京都文京区弥生町　東京大学理学部地球物理学教室

研究会責任者：吉田耕造

従来の討論題目リスト

回	年 月 日	話題提出者	題　目
1.	1957. 5. 8.	吉田　耕造	Circulation (I) General remarks.
2.	5. 22.	南日　俊夫	Prediction and osbervations (I)．海況の数値予報．
3.	6. 12.	宮崎　正衛	Circulation (II) Variations.
4.	6. 26.	半沢　正男	Prediction of the future state of the ocean.
5.	7. 10.	吉田　耕造	Ocean current theory に関する 1955-1957 の新しい発展．
6.	9. 11.	増沢譲太郎	1957, 6-7 月一斉海流調査の結果．
		南日　俊夫	海洋におけるうず度の保存．
7.	9. 25.	宇田　道隆	Estuarine circulation.
8.	10. 9.	井上　栄一	Oceanic turbulence.
9.	10. 23.	福岡　二郎	水温の long-term variation.
		中野　猿人	Long waves について．
10.	11. 13.	高橋龍太郎	津浪．
11.	11. 27.	宮崎　正衛	Storm surge
12.	12. 11.	宇野木早苗	Waves.
			台風内の波浪．
13.	1958. 1. 29.	C. S. Cox	Air-sea boundary processes.
		井上　栄一	
14.	2. 12.	南日　俊夫	黒潮と冷水魂．
		日高　孝次	無流面を決定する一方法．
15.	3. 12.	大久保　明	Water masses.
16.	4. 10.		海洋学会大会の際，地方研究者との discussions
17.	4. 16.	岸保勘三郎	気象学における数値予報．
18.	4. 30.	岡見　登	Optical oceanography.
19.	5. 14.	竹内　能忠	IGY 海洋観測計画．
20.	5. 28.	富永　政英	流れにおこる波の問題．
21.	6. 11.	永田　豊	海岸侵蝕に関連した nearshore の問題．
22.	6. 25.	奈須　紀幸	地質と物理との joint-discussions.
		内尾　高保	
23.	9. 24.	岸上　冬彦	脈動．
24.	10. 8.	吉田　耕造	Stommel 一派の最近の研究．—特に深海循環について—
25.	12. 12.	平野　敏行	水産海洋調査の問題点．
26.	1959. 2. 11.	高橋龍太郎	Long wave recorder およびそれによつて得られた 2, 3 の結果．
27.	2. 25.		IGY 観測結果 (I) Ship observations.
		吉田　昭三	赤道海域海流測定結果．
		増沢譲太郎	極前線海洋観測結果．
28.	3. 11.		IGY 観測結果(II) Long wave observations.
		高橋龍太郎	宮城江之島における観測．
		中野　猿人	八丈島における観測．
29.	3. 26.		IGY 観測結果 (III)．
		竹内　能忠	外国における観測．
30.	4. 8.		深海海洋物理学の問題点．（海洋学会大会の際の discussions）
31.	5. 24.	竹内　能忠	短周期海況変動 (I)．
32.	6. 10.	丸茂　隆三	プランクトン研究の問題点．
33.	6. 24.	宇野木早苗	港湾のセイシュと long-period waves.
34.	7. 8.	増沢譲太郎	短周期海況変動 (II)．
35.	9. 23.	佐藤　良輔	T phase について

録 事

1. 月例会

(1) 6月例会(6月9日. 於東大)

1. 本州南方海域の浮游性有孔虫について 内尾高保(東大) 2. 南極海の底棲ならびに浮游性有孔虫内尾高保(東大) 3. The polar forms of Sinhi$^{1/2}$x, etc. and their application to the Ekman Spiral F.C.W. Olson (U. S. Navy Marine Defense Laboratory) (吉田代読) 4. 渦動粘性係数が深さと共に linear に変る場合の Ekman Spiral の解 F. C. W. Olson (U. S. Navy Marine Defense Laboratory) (吉田代読) 5. 準瞬間的な諸量の満す連続方程式の吟味ならびに Esturaine Oceanography えの応用例 大久保明 (気象庁, Johns Hopkins University) (吉田代読)

(2) 7月例会(7月14日. 於東大)

1. 南赤道反流 吉田耕造(東大) 2. 北太平洋のミクロプランクトン分布にいて 丸茂隆三(気象庁)

(3) 9月例会(9月8日. 於気象庁)

1. ハワイに於ける海洋研究について 彦坂繁雄(水路部)

2. 幹事会議事録

(1) 6月幹事会(6月9日於東大)

出席者 (順不同) 中野猿人, 佐々木忠義, 南日俊夫, 吉田耕造, 平野敏行, 宇野木早苗, 福岡二郎, 半沢正男(委任)

○主なる決定事項

(a) 月例会の通知は全国の評議員に送る.

(b) 秋季大会にシンポジウムを開くが, これは新潟と打合せ, 新潟の希望する海岸侵蝕シンポジウムについて考慮する.

(c) 秋季大会の大会委員長は日本海区水研の内橋潔氏にお願いする.

(2) 7月幹事会(7月14日於東大)

出席者(順不同) 日高孝次, 中野猿人, 吉田耕造, 宇野木早苗, 平野敏行, 竹内能忠, 松江吉行, 福岡二郎, 佐々木忠義, 三宅泰雄, 南日俊夫 (福岡委任) 半沢正男(吉田に委任)傍聴 内尾高保,

○報告

(a) 海洋研究所に関する件.

講座は次の講座に決定した. 3ヶ年計画の場合初年度に実施する分としては○印の講座である. 海洋力学, ○海洋物理学, ○海洋化学, 海洋生化学, ○海洋地質学, 海洋地形学, 海洋動物学, 資源細菌学, 海洋植物学, 海洋資源生物学, ○プランクトン学, ○環境学, ○数理資源学, 漁獲性能学, 測器学.

(b) 新入会員(順不同)

笹森勝之助 (日本科学技術情報センター)
場畑啓司 (第7管区海上保安本部水路部)
高田雄次 (防衛大学)

○主なる決定事項

(a) 海洋総合研究所設立促進委員会海洋研究所設立に関する経過報告及び今後の方針を協議する為促進委員会を開く事に決定. 7月23日午後2時～ 於東大.

(b) 毎日学術奨励金及び階成学術奨励金の件. 7月31日締切. 申し出たい会員又は推薦したい会員は会長迄申し出てこれを会長が推薦する. 推薦は会長に一任する.

(c) シンポジウムの件. 秋季大会の時開かれるシンポジウムは, 速水副会長及び, 運輸省第1港湾建設局が中心になって進めて行く.

(d) 秋季大会の講演論文の締切9月20日

3. 寄贈交換図書

〔国内の部〕

○尾鷲湾ダム放水の漁業に及ぼす影響の予察調査報告; ○海象と気象 9, 174-184; ○運輸技術研究所報告 9, 4,5,6,7, 報告別冊; ○気象集誌 37, 3,4; ○水道協会雑誌 297,298,299,300,301, 総目次(創刊号～第300号); ○雪氷 21, 4,5; ○地質学雑誌 65 754,765,766,767,768; ○地質調査所月報 10, 4,5,6; ○電波研究所季報 5, 19,20; ○天文月報 52, 6,7,,89,10; 東京工業試験所報告 54, 3,4,5,6,7,8; ○日本化学総覧 33; 6,7,8,9; ○日本航空学会誌 7, 64,65,66,67; ○日本塩学会誌 13, 2,3,4; ○非水溶液化学研究所報告 8, 12; ○富士製鉄技報 8, 2,3; ○気象要覧 701,702,703,704,705,706,707,708; ○気象月報 33年7,8,9,10,11,12月, 34年1,2,3月; ○研究時報 10, 9,10,11,12, 11, 1,2; ○験震時報 23, 2,3,4; ○産業気象調査報告 22, 1; ○気象庁彙報 40, 3; ○気象庁欧文彙報 28, 4, 29, 1,2; ○欧文海洋報告 10, 2; ○気象庁年報 1; ○資源科学研究所彙報 49,50, 別冊; ○運輸技術研究所年報 33年度; ○東海区水産研究所研究報告 24, 東海区水産研究所業績集 33年度; ○東京学芸大学研究報告 10集; ○各国原子力情報 49,50,51,52,53; ○大分大学芸学部研究紀要 3; ○内海区水産研究所研究報告 12; ○測地会誌 5,2,3-5; ○東北海区水産研究所報告 12,13; ○東北海区水産研究所海洋資源年報 22-23年度 (3冊), 25年度 (3冊), 28年度 ○日本プランクトン研究連絡会報 6; ○日本原子力研究所調査報告 7; ○日本原子力研究所研究報告 1; ○日本原子力学会誌 1, 1,2,3,4; ○北海道大学地球物理学研究報告 6; ○運輸技研資料 18,19,20; ○用水と廃水 1, 1,2; ○工学部研究報告 21; ○研究報告 1,2; ○Ionspheric Data in Japan 11, 2,3,4,5,6,7; ○The Results of Marine Meteorolagical and Oceanographical Observations 22; ○Memoirs of the Faculty of Engineering, Nagoya University 10, 2; ○Pablications of the Astronomical Saciety of Japan 11, 2; ○Report of Transportation Technical Research Institute 35,36,37,38,39; ○The Journal of Earth Sciences, Nagoya University 6, 2, 7, 1; ○Bulletin of the Tokyo Institute of Technology B, 2,3,4; ○The Science Reports of the Tohoku University 11, 1, Supplement;

〔国外の部〕

○気象学報 30, 2; ○中国紡織 16,21; ○地理学報 25, 4; ○土木工程学報 6, 3,4,5,6,7,8; ○海洋與湖沼 2 2; ○World Fisheries Abstracts 10, 1,2; ○Notulae Natural of Academy of Natural Sciences of Philadelphia 304-312; ○Proceedings of the Academy of Natural

Sciences of Philadelphia 110; ○Pacific Science 13, 3; ○Journal of the Marine Biological Assaciation of the United Kingdom 38, 2; ○Deutsche Hydrographische Zeitschrift 12, 1,2; ○Centro Talassografica Tirreno 19; ○Veröffentlichungen des Instituts für Meeresforschung in Bremeshaven 6, 1; ○ Jahsesbericht 13; ○Acta Geolagica Polonica 6, 2, 7, 1,2; ○Novitates 1894,1897,1906; ○Contributions of the Hawaii Marine Laboratory 1958年 Magnetograms and Hourly Values 1955 (Cheltenham, Maryland); ○The Polar Record 9, 62; ○Collected Reprints 1958; ○Bulletin of the American Museum of Natural History 115, 1,2,3; ○Fishery Investigations 22, 6,7, 10; ○Bulletin of the British Museum Zoolagy 5, 6, 7,8,9; ○The Marine Abserver 28, 179, 29. 184; ○ Bulletin 122.

リゴー海洋観測器械

測深機　各　種
採泥器　各　種
採水器及び測温観測器械
海水比重測定用具
海流調査器械各種
波圧波浪測定器
潮汐観測器械
海洋化学観測諸器具
プランクトン採集網
及び処理器械
その他理化学器械

株式会社　離　合　社

本　社　東京都千代田区神田鍛冶町1の2　電話 神田(25)1513・773・458
大阪営業所　大阪市北区北同心町1の15　電話 堀川(35)　8019
工　場　東京・浦和

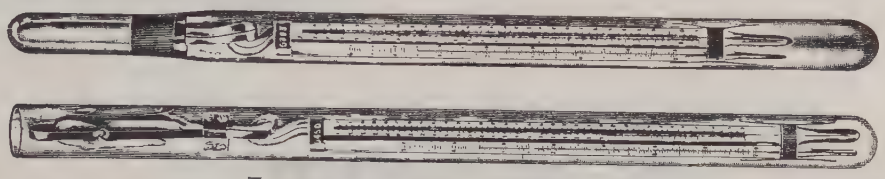
REVERSING THERMOMETER

渡部式転倒温度計
木枠式転倒温度計
水温計各種

赤沼式海水用比重計
温度基準器各種
湿度計・水銀リレー

株式会社 渡部計器製作所

東京都文京区東片町114　　電話 小石川 (92) 5954番 0044番

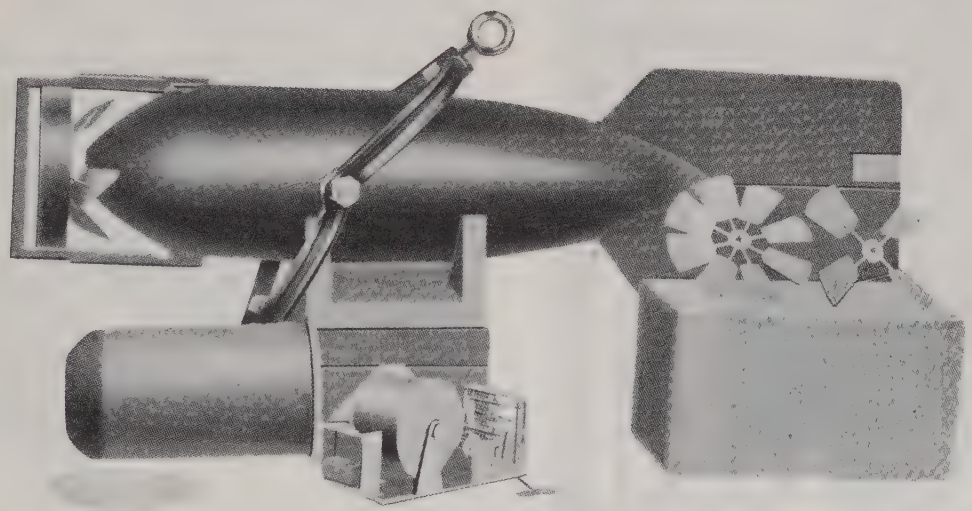


TELEGRAPHIC CODE: STWKEIKI

WATANABE KEIKI MANUFACTURING COMPANY LTD.

114 Higashikata-machi. Bunkyo-ku Tokyo.

JAPAN



(小野式自記流速計)

営業品目

小野式自記流速計・発電型流速計
土圧計・自記水位計
遠隔指示水位計・フース型検潮器
自記波高計・自記波圧計
階段抵抗式波高計・その他海洋観測諸計器

協和商工株式会社

東京都豊島区椎名町1丁目1804番地

電話 (95) 1858・8147番

T.S.K 株式会社 鶴 見

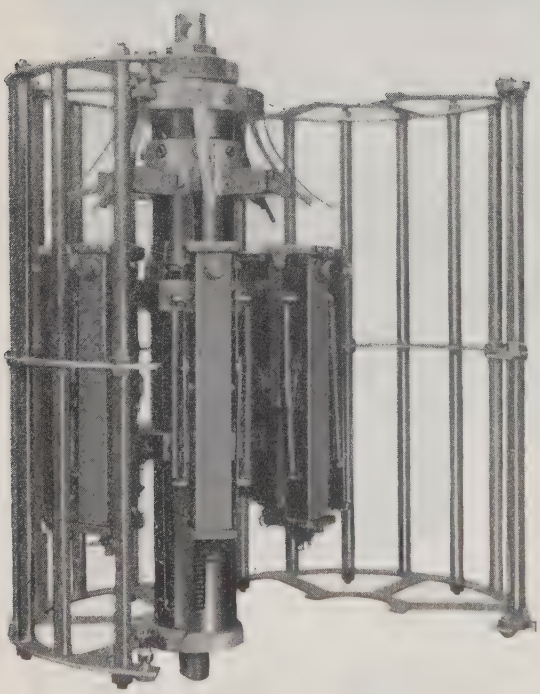
THE TSURUMI SEIKI

No. 1506 TSURUMI, TSURUMI-

The Synthetic Maker
Instruments and the

T.S.—SEA SAMPLER

(T.S.—多層採水器)



(1) 一回の観測にて

(2) 下層 200m より順次 150—100—75—50—30—20—10 m の順に採水

(3) 各層に於ての深度誤差 3% 以内

(4) 一筒の採水量 200 cc

This instrument can obtain water samples,

(1) by only one operation.

(2) from 200 meter low layer to the surface in order of 200 M—150 M—100 M—75 M—50 M—30 M—20 M and 10 M.

(3) Depth error: less than ±3%.

(4) Volume of water canisters: 200 cc. each.

株式会社 鶴 見 精 機 工 作 所

精　機　工　作　所

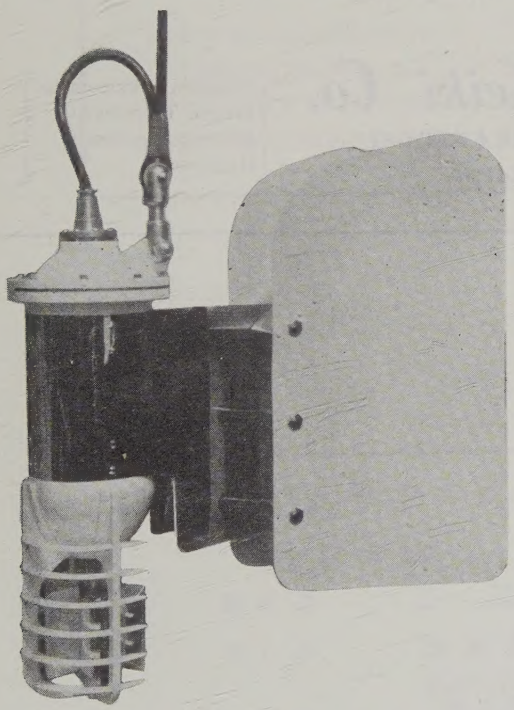
KOSAKUSHO CO., LTD.

KU, YOKOHAMA, JAPAN

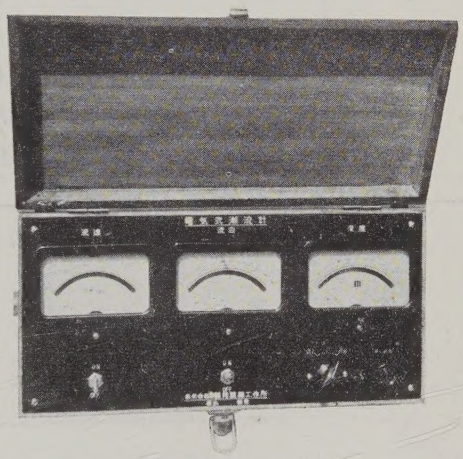
of the Oceanographic Marine Instruments

T.S.—ELECTRIC CURRENTMETER

(T.S.—電気式流速計)　　(米国海軍水路部納入 1959)



発信器



直読指示器

(1)　流向 0—360 度最小目盛 5 度
(2)　流速 15. cm/sec～150 cm/sec, 最小目 2 cm.
(3)　深度 0～200 m, 0～300 m, 最小目 2.5 m.
(4)　水温付のものは御要求により製作

Supplied to U.S. Navy Hydrographic Office in 1959.

(1)　Direction—0～360° : 5° graduation.
(2)　Velocity—15. cm/sec.～150 cm/sec. : 2 cm. graduation.
(3)　Depth—two kinds : 0～200 M type & 0～300 M type, graduation 2.5 m.
(4)　We are able to furnish the instrument with thermometer if desired.

岩宮測器研究所

所長　岩宮政雄

REVERSING TERMOMETER

Protected

Unprotected

Patented parallax-free back scale, opal glass back sheath enable precise measurement.
Write for details

KYS **Yoshino Keiki Co.**

1-14, NISHIGAHARA KITA-KU
TOKYO JAPAN

Standard Thermometer
Precise Thermometer
Mercury Barometer
Hygrometer

Announcment for foreign members

Beginning from the 1959 fiscal year, namely from April 1, 1959 (Volume 15, No 1), the annual foreign membership dues of the Oceanographical Society of Japan will be U.S. $2.50 (¥900).

Please make remittances payable to and send direct to :—

The Oceanographical Society of Japan
c/o Geophysical Institute,
University of Tokyo
Yayoi-cho, Bunkyo-ku
Tokyo, Japan.

Annual dues for foreign members who are now in Japan and wish to receive the Journal at their present addresses in Japan will be ¥600.

昭和33年12月の役員会において，昭和34年度より日本人会員で目下，外国にあり雑誌を自分が現在いるところに送つてもらいたいものの会費を米貨2ドル50セント（邦貨900円）に改訂することが決められましたので御承知下さい。なお在外日本人で雑誌の留守宅送付を希望する向の会費は在来通り600円です。

昭和34年10月20日印刷
昭和34年10月25日発行

日本海洋学会誌 第15巻 第3号

定価 ¥200　　送料 ¥20

編集者　松江吉行

発行者　日本海洋学会
東京大学理学部地球物理学教室内
東京都文京区弥生町
振替番号：東京173123

印刷所　大東印刷工芸株式会社
東京都中央区新富町2ノ19

JOURNAL OF THE OCEANOGRAPHICAL SOCIETY OF JAPAN

BOARD OF EDITORS

Editor-in-Chief	Yoshiyuki MATSUE	University of Tokyo
Assistant Editors	Mashito NAKANO	Japan Meteorological Agency
	Toshio NAN'NITI	Meteorological Research Institute
	Hiroshi NIINO	Tokyo University of Fisheries
	Rinnosuke FUKAI	Tokai Regional Fisheries Reserch Laboratory
	Kozo YOSHIDA	University of Tokyo
	Yuzo KOMAKI	University of Tokyo

* * *

The JOURNAL OF THE OCEANOGRAPHICAL SOCIETY OF JAPAN is a medium for the publication of original paper in oceanography and closely allied fields. It is published quarterly by the Oceanographical Society of Japan. The annual dues for the types of membership available in the Society are: Domestic Member ¥600, Oversea Member $2.50 (¥900), and Sustaining Member ¥5000. The subscription price of the Journal is ¥800 per year to nonmembers. Foreign subscription carry an additional charge for postage $1.00 (or equivalent amount in Japanese currency according to the prevailing official rate of exchange).

Subscribers are requested to make remittance payable to the Oceanographical Society of Japan. Subscription orders, claims for missing numbers, change of address, and other business correspondence should be addressed to the Oceanographical Society of Japan, c/o Geophysical Institute, University of Tokyo, Yayoi-cho, Bunkyo-ku, Tokyo, Japan.

* * *

Information for contributors

1. Authors must be, in principle, members of the Oceanographical Society of Japan, but there is no objection if co-authors are non-members.
2. The date of receipt of a manuscript is when the editorial board receives it. The manuscript should be one which has been read at an open meeting and has not been printed elsewhere. The reading of the manuscript at an annual or a monthly meeting of the Oceanographical Society of Japan is desirable. The manuscript should be provided with the date, the name and the place of the meeting at which it was read. Every manuscript should be sent *directly* to **the Oceanographical Society of Japan, c/o Geophygical Institute, the University of Tokyo; Yayoi-cho, Bunkyo-ku, Tokyo Japan.**
3. All contributions to the Journal should be written in Japanese or in occidental languages. In the latter case, English language is desirable.
4. The manuscript must be clear and brief, and its length should not exceed **10** pages when printed in the Journal. This nearly corresponds to 25 double-spaced typewritten pages including figures. and tables. The author is requested to pay page charges ($5.00 per page) necessary for printing the **exceeded** pages. All manuscripts should be prepared with special attention to following articles.
   (a) All manuscripts should be typewritten with double-space.
   (b) Title, author's name and affiliation are required at the beginning of each manuscript.
   (c) Each figure must be drawn in black ink or Indian ink for direct photographic reproduction. The original drawing, particularly characters and symbols for the lettering of illustrations, should be large enough to remain clearly legible when reduced.
   (d) Figures and tables should be confined to necessary ones. The author might be requested to pay charges necessary for printing them when they are particular or exceed 8 sheets.
   (e) Each figure and table must be provided with an adequate legend.
   (f) Mathematical formulae in the manuscript should be written clearly with a wide space above and below each character.
   (g) References should be grouped at the end of the paper and arranged alphabetically by authors' name.
   (h) The form and style of each article should be referred to the Journal subsequent to volume 12.
5. The editoral board of the Journal might revise or request the author to revise the submitted manuscript. A manuscript which is against the above mentioned articles will not be accepted. The author must read, in principle, the galley proof.
6. The author (or authors) of each article will receive a total of 50 *free* reprints (with covers). Additional reprints with or without covers may be ordered by authors when galley proofs are returned at the cost of printing (including postage).
7. The closing days of manuscripts and the days of publication of each number of the Journal are as follows;

No. 1	Jan. 31	Mar. 31
No. 2	Apr. 30	Jun. 30
No. 3	Jul. 31	Sep. 30
No. 4	Oct. 31	Dec. 31